



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - 181819

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH
KANTONG PLASTIK LDPE (*LOW DENSITY
POLYEHTYLENE*) DENGAN METODE BASAH
PADA CAMPURAN LASTON LAPIS PONDASI
TERHADAP PARAMETER UJI MARSHALL**

M. FAHRIZAL ZAKI MUBAROK
NRP. 10111510000047

DOSEN PEMBIMBING
Dr. MACHSUS., S.T., M. T.
NIP. 19730914 200501 1 002

**PROGRAM SARJANA TEKNIK TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**



TUGAS AKHIR - 181819

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH
KANTONG PLASTIK LDPE (*LOW DENSITY
POLYEHTYLENE*) DENGAN METODE BASAH
PADA CAMPURAN LASTON LAPIS PONDASI
TERHADAP PARAMETER UJI MARSHALL**

**M. FAHRIZAL ZAKI MUBAROK
NRP. 1011151000047**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. MACHSUS., S.T., M. T.
NIP. 19730914 200501 1 002**

**PROGRAM SARJANA TEKNIK TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**



FINAL PROJECT - 181819

THE EFFECT OF ADDITION OF LDPE (LOW DENSITY POLYETHYLENE) PLASTIC BAGS WITH WET METHOD FOR MIXTURE ASPHALT CONCRETE BASE ON MARSHALL TEST PARAMETERS.

M. FAHRIZAL ZAKI MUBAROK
NRP. 10111510000047

SUPERVISOR
Dr. MACHSUS., S.T., M. T.
NIP. 19730914 200501 1 002

APPLIED BACHELOR PROGRAM
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
VOCATIONAL FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2020

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH KANTONG PLASTIK LDPE (*LOW DENSITY POLYEHTYLENE*) DENGAN METODE BASAH PADA CAMPURAN LASTON LAPIS PONDASI TERHADAP PARAMETER UJI MARSHALL

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Sarjana Teknik Terapan

Program Studi Sarjana Teknik Terapan Infrastruktur Sipil

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil

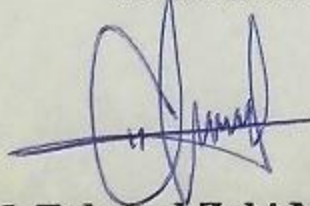
Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Disusun oleh :

Mahasiswa



M. Fahrizal Zaki Mubarak

1011151000047

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir
Dosen Pembimbing



29 JAN 2020

Dr. Machsus, S. T., M. T
NIP. 19730914 200501 1 002



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
 PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
 -/890/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2020

Tanggal : 17 Januari 2020

Judul Tugas Akhir Terapan	Pengaruh Penambahan Limbah Kantong Plastik LDPE (Low Density Polyethylene) Dengan Metode Basah Pada Campuran Laston Lapis Pondasi Terhadap Parameter Uji Marshall		
Nama Mahasiswa	M. Fahrizal Zaki M.	NRP	10111510000047
Dosen Pembimbing 1	Dr. Machsus, ST., MT. NIP. 19730914 200501 1 002	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	- NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
1. Parameter abstrak 2. Dokumentasi Aspal + LDPE 3. Grafik KAO	 Amalia Firdaus Mawardi, ST. MT NIP. 19770218 200501 2 002
1. Narasi tentang SEM 2. Penentuan KAO	 Ir. Rachmad Basuki, MS NIP 19641114 198903 1 001
	- NIP -
	- NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
		-	-
Amalia Firdaus Mawardi, ST. MT NIP. 19770218 200501 2 002	Ir. Rachmad Basuki, MS NIP 19641114 198903 1 001	NIP -	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Dr. Machsus, ST., MT. NIP. 19730914 200501 1 002	- NIP -



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1. M. Fahrizal Zaki M. 2
NRP : 1. 1011510000047. 2
Judul Tugas Akhir : Pengaruh penambahan limbah kantong plastik LDPE (Low Density Polyethylene) dengan metode basah pada campuran laston lapis perkerasan terhadap parameter uji marshall.
Dosen Pembimbing : Dr. Machsus, ST., MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
	14-11-2019	- Dari ketiga variasi blending, digunakan yang variasi tipe 2 karena nilainya nilainya tidak terlalu dekat dengan BA-BB		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	9-12-2019	- mempertimbangan hasil pengujian marshall lagi terutama pada variasi ke-4 (5.67%)		B	C	K
		- di uji lagi karakteristik aspal + plastik.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- aspal sbg substitusi, bukan additif.		B	C	K
		- 5 sampel ke 3 sampel bisa.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	12/12/2019	- karakteristik aspal modifikasi substitusi tiap variasi		B	C	K
		- KAO: 5,95%		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	19/12/2019	- lanjutkan uji analisis		B	C	K
		- uji distensibilitas plastik		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH KANTONG
PLASTIK LDPE (LOW DENSITY POLYETHYLENE)
DENGAN METODE BASAH PADA CAMPURAN LASTON
LAPIS PONDASI TERHADAP PARAMETER UJI
MARSHALL.**

Disusun :

Nama : M. Fahrizal Zaki Mubarak
NRP : 1011151000047
Dosen Pembimbing : Dr. Machsus, S.T., M.T.
NIP : 19730914 200501 1 002

ABSTRAK

Modifikasi aspal menggunakan bahan plastik merupakan salah satu bahan konstruksi penting dan inovatif untuk perkerasan lentur. Penambahan limbah kantong plastik (LDPE) pada campuran aspal dapat meningkatkan nilai stabilitas dan daya tahan campuran aspal. Penelitian ini mengamati pengaruh penambahan limbah kantong plastik pada campuran aspal dengan cara basah terhadap parameter uji marshall yang meliputi stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, dan MQ. Kadar penambahan limbah kantong plastik yaitu 2%, 4%, 6%, 8%, 10% dari berat aspal. Aspal yang digunakan penetrasi 60/70.

Tahap – tahap pada penelitian ini meliputi pengujian fisik agregat, analisa saringan, pengujian karakteristik aspal konvensional dan modifikasi, dan pengecekan spesifikasi Laston lapis pondasi yang mengacu pada spesifikasi umum PU Bina Marga 2018. Metode pencampuran plastik yang digunakan adalah cara basah, yaitu menambahkan plastik LDPE pada aspal yang telah dipanaskan. Agregat yang digunakan berasal dari PT. Calvary Abadi dengan fraksi 10-20, 10-10, 5-10, 0-5 serta aspal penetrasi yang digunakan penetrasi 60/70 dari PT. Bumindo Mojokerto.

Penelitian ini memberikan hasil studi eksperimental bahwa penambahan limbah kantong plastik dengan kadar plastik optimum memberikan dampak pada campuran laston lapis pondasi yang meliputi peningkatan stabilitas, flow, VIM, VMA dan MQ apabila didasarkan pada garis regresi serta terjadi penurunan nilai VFA dan Density. Kadar plastik optimum yang didapatkan adalah 3,5% dari berat aspal. Nilai parameter marshall yang didapat setelah penambahan limbah kantong plastik 3,5% adalah stabilitas 2320,68 Kg; flow 5,633 mm; VIM 4,8%; VMA 16,27%; VFA 75,12%; MQ 442,66 Kg/mm dan density 2,347 gr/cc. Penambahan limbah kantong plastik juga mempengaruhi karakteristik aspal. Hasil yang didapatkan meliputi penurunan nilai daktilitas, penetrasi, kehilangan berat, density serta peningkatan nilai titik nyala dan titik lembek. Nilai karakteristik aspal dengan penambahan limbah kantong plastik 3,5% adalah penetrasi 40,996; titik lembek 80,409 °C; titik nyala 224,589 °C; Daktilitas 141,916 cm; kehilangan 0,04232%; berat jenis 1,00299gr/cc.

Kata kunci : *LASTON Lapis Pondasi, LDPE, Limbah Plastik.*

**THE EFFECT OF ADDITION OF LDPE (LOW DENSITY
POLYETHYLENE) PLASTIC BAGS WITH WET
METHOD FOR MIXTURE OF ASPHALT CONCRETE
BASE ON MARSHALL TEST PARAMETERS.**

Name : M. Fahrizal Zaki Mubarak
NRP : 10111510000047
Supervisor : Dr. Machsus, S.T., M.T.
NIP : 19730914 200501 1 002

ABSTRACT

Modification of asphalt using plastic material is one of the important and innovative construction materials for flexible pavement. Adding plastic bag waste (LDPE) to the asphalt mixture can increase the stability and durability value of asphalt mixture. This study examines the effect of adding plastic bag waste to the asphalt mixture in a wet way to the Marshall test parameters which include stability, flow, VIM, VMA, VFA, and MQ. The level of additional plastic bag waste is 2%, 4%, 6%, 8%, 10% of the weight of asphalt. The asphalt used is 60/70 penetration.

The steps in this study include physical aggregate testing, filter analysis, testing of conventional asphalt characteristics and modifications, and checking the asphalt concrete base specifications that refer to the general specifications of PU Bina Marga 2018. The plastic mixing method used is the wet method, namely adding LDPE plastic on heated asphalt. The aggregates used are from PT. Calvary Abadi with fractions 10-20, 10-10, 5-10, 0-5 and penetration asphalt used 60/70 penetration from PT. Bumindo Mojokerto.

This study provides the results of an experimental study that the addition of plastic bag waste with optimum plastic content has an impact on the mixture of asphalt concrete base which includes increased stability, flow, VIM, VMA and MQ if it is based on a

regression line and a decrease in the value of VFA and Density. The optimum plastic content obtained is 3.5% by weight of asphalt. Marshall parameter values obtained after the addition of 3.5% plastic bag waste are the stability of 2320.68 kg; flow 5,633 mm; VIM 4.8%; VMA 16.27%; VFA 75.12%; MQ 442.66 kg / mm and a density of 2,347 gr / cc. The addition of plastic bag waste also affects the characteristics of asphalt. The results obtained include a decrease in the value of ductility, penetration, weight loss, density and an increase in the value of flash points and soft points. The characteristic value of asphalt with the addition of 3.5% plastic bag waste is the penetration of 40.996; softening point 80,409 °C; flash point 224,589 °C; Ductility 141,916 cm; loss of 0.04232%; specific gravity 1,00299 gr / cc.

Key note : Asphalt concrete base, LDPE, Plastic waste

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Pengaruh Penambahan Limbah Plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) dengan Metode Basah pada Campuran Laston Lapis Pondasi Terhadap Parameter Uji Marshall”.

Dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini, Penulis tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Ibu dan Ayah yang telah memberi dorongan baik moril maupun materil.
2. Bapak Dr. Machus, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing.
3. Bapak Ir. Rachmad, MS. dan Ibu Amalia Firdausi Mawardi, ST., MT. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan serta arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Adik Riris, Alfin, Wafa dan Wafi yang selalu memberikan dukungan dalam segala kondisi.
5. Moh Firli Firdausi yang telah sangat berjasa dalam membantu, mendampingi, serta mengajari hingga tugas akhir penelitian ini selesai.
6. Gifary dan Ollyan sebagai rekan se – topik dalam pengerjaan tugas akhir penelitian ini.
7. Mas Farauq Iqbal yang telah sangat membantu dalam kelangsungan menuntut ilmu di ITS.
8. Semua pihak dan instansi yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir.
9. Serta teman – teman yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semuanya Demikian yang dapat penulis sampaikan. Semoga penulisan Tugas Akhir ini dapat berguna.

Surabaya, 29 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Laston	7
2.1.1. Pengertian Laston	7
2.1.2. Spesifikasi campuran laston.....	9
2.1.3. Spesifikasi Agregat (umum)	9
2.1.4. Spesifikasi Agregat Kasar.....	10
2.1.5. Spesifikasi Agregat Halus.....	10
2.1.6. Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan	11
2.1.7. Spesifikasi Bahan Aspal	12
2.2. Low Density Polyethylene (LDPE).....	12
2.3. Perencanaan Kadar Aspal Optimum.....	14
2.4. Pengujian <i>Marshall</i>	15
2.4.1. Parameter pengujian <i>Marshall</i>	15
2.5. Penelitian Terdahulu.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1. Diagram Alur Penelitian.....	35
3.2. Lokasi Penelitian	37
3.3. Persiapan Peralatan dan Bahan.....	37
3.3.1. Peralatan	37
3.3.2. Bahan	39
3.3.3. Persiapan plastik LDPE	40
3.4. Pengujian Bahan.....	40

3.5.	Pemeriksaan Material	40
3.5.1.	Pemeriksaan Aspal.....	40
3.5.2.	Pemeriksaan Agregat	41
3.6.	Metode Pencampuran Plastik	41
3.6.1.	Metode Kering (dry process)	41
3.6.2.	Metode Basah (wet process).....	41
3.7.	Pembuatan Benda Uji	41
3.8.	Perhitungan Jumlah Sampel Penelitian.....	42
3.9.	Pengujian <i>Marshall</i>	43
3.10.	Analisis dan Pembahasan	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1.	Hasil Pengujian Material	45
4.1.1.	Pengujian Karakteristik Aspal Konvensional	45
4.1.2.	Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi	45
4.1.3.	Pengujian Agregat.....	58
4.2.	<i>Blending</i> Agregat.....	68
4.3.	Kadar Aspal Rencana	70
4.3.1.	Fraksi Desain Butiran Agregat.....	71
4.3.2.	Fraksi desain butiran campuran	72
4.3.3.	Perkiraan awal penyerapan aspal	73
4.4.	Variasi kadar aspal rencana	73
4.5.	Hasil pengujian aspal rencana	76
4.5.1.	Menghitung Berat Jenis Teori Maksimum (Gmm)	78
4.6.	Hasil Analisis Parameter Pengujian <i>Marshall</i>	78
4.6.1.	Density.....	78
4.6.2.	Void In Mix (VIM).....	79
4.6.3.	Void In Mineral Aggregate (VMA).....	81
4.6.4.	Void Filled Asphalt (VFA)	82
4.6.5.	Stabilitas	84
4.6.6.	Flow	85
4.6.7.	Marshall Quotient (MQ)	86
4.6.8.	Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	87
4.7.	Menghitung Variasi Kadar Plastik.....	90
4.8.	Hasil pengujian aspal plastik.....	94
4.9.	Berat Jenis Teori Maksimum Campuran dengan Aspal Modifikasi.....	95

4.10.	Hasil Analisis Parameter Pengujian <i>Marshall</i> Aspal Plastik	96
4.10.1.	Density	96
4.10.2.	Void in mix (VIM).....	97
4.10.3.	Void In Mineral Aggregate (VMA)	99
4.10.4.	Void Filled Asphalt (VFA)	101
4.10.5.	Stabilitas	102
4.10.6.	Flow	104
4.10.7.	Marshall Quotient (MQ)	105
4.11.	Penentuan Kadar plastik optimum	107
4.12.	Parameter Marshall pada Kadar Plastik Optimum	114
4.13.	Karakteristik Aspal Modifikasi pada Kadar Plastik Optimum	114
4.14.	Hasil Analisa Uji SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	116
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		119
5.1.	Kesimpulan.....	119
5.2.	Saran.....	119
DAFTAR PUSTAKA		121
BIODATA PENULIS		125
LAMPIRAN.....		127
Lampiran 1. Proses pembuatan benda uji		127
Lampiran 2. Logbook Penelitian		128
Lampiran 3. Dokumentasi Pengujian Aspal		134
Lampiran 4. Dokumentasi Pengujian Agregat.....		139
Lampiran 5. Dokumentasi Pembuatan Campuran		143
Lampiran 6. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat dan Penyerapan		145
Lampiran 7. Pengujian Berat Jenis Aspal		149
Lampiran 8. Pengujian Titik Lembek		151
Lampiran 9. Pengujian Penetrasi		153
Lampiran 10. Pengujian Kehilangan Berat.....		154
Lampiran 11. Hasil pengujian Marshall, Flow, Marshall Quotient		155
Lampiran 12. Hasil Pengujian dan Perhitungan Nilai VIM.....		158
Lampiran 13. Hasil Pengujian dan Perhitungan Nilai VMA		160
Lampiran 14. Hasil Pengujian dan Perhitungan Nilai VFA.....		162

“Halaman Ini Sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Grafik jumlah panjang jalan beraspal Tahun 1957 – Tahun 2017.....	2
Gambar 1.2. Uji Gelar Teknologi Aspal Plastik di Pasuruan.....	3
Gambar 2.1. Ilustrasi Laston	8
Gambar 2.2. Molekul Polyethylene.....	13
Gambar 2.3. Resin ID Code untuk LDPE	14
Gambar 2.4. Kantong Plastik Jenis LDPE.....	14
Gambar 2.5. Grafik hubungan antara VMA minimum dengan ukuran agregat maksimum yang digunakan.	16
Gambar 2.6. Volumetrik Campuran Aspal.....	18
Gambar 2.7. Pengaruh cara pencampuran / penambahan plastik mutu rendah Jenis LDPE terhadap nilai stabilitas Marshall.....	21
Gambar 2.8. Grafik hubungan antara KAO 6,5% + LLDPE dan stabilitas.....	22
Gambar 2.9. Grafik hubungan antara KAO 6,5% + LLDPE dan VIM.....	23
Gambar 2.10. Grafik Hubungan Antara KAO 6,5% + LLDPE dan VFA.....	23
Gambar 2.11. Grafik Hubungan Antara KAO 6,5% + LLDPE dan VMA.....	23
Gambar 2.12. Grafik Hubungan Antara KAO 6,5% + LLDPE dan flow.....	24
Gambar 2.13. Grafik Hubungan Antara KAO 6,5% + LLDPE dan MQ	24
Gambar 2.14. Pengaruh LDPE pada uji titik lembek	27
Gambar 2.15. Pengaruh LDPE pada uji penetrasi	27
Gambar 2.16. Dampak LDPE pada uji daktilitas	28
Gambar 2.17. Hubungan antara VMA campuran beraspal dengan kadar bahan aditif (Polyethylene dan PVC).....	29
Gambar 2.18. Hubungan antara berat jenis campuran beraspal dengan kadar bahan aditif (Polyethylene dan PVC).....	30
Gambar 2.19 Hubungan antara Stabilitas Marshall campuran beraspal dengan kadar bahan aditif (Polyethylene dan PVC).....	30

Gambar 2.20 Hubungan antara flow campuran beraspal dengan kadar bahan aditif (Polyethylene dan PVC).....	30
Gambar 2.21 Hubungan antara VIM campuran beraspal dengan kadar bahan aditif (Polyethylene dan PVC).....	30
Gambar 2.22. Hubungan antara kehilangan berat dengan kadar penambahan LDPE.....	32
Gambar 2.23. Parameter marshall dari LDPEMSMA (Low Density PolyEthylene Modified Stone Matrix Asphalt).....	32
Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian.....	35
Gambar 3.2. Lanjutan Diagram Alur Penelitian.....	36
Gambar 4.1. Hubungan Antara kadar plastik dengan penetrasi pada Aspal Modifikasi (penambahan LDPE)	46
Gambar 4.2. Hubungan Kadar Plastik dengan Titik Lembek pada Aspal Modifikasi	48
Gambar 4.3. Hubungan Kadar Plastik dengan Titik Nyala pada Aspal Modifikasi.....	49
Gambar 4.4. Hubungan Kadar Plastik dengan Daktilitas pada Aspal Modifikasi	51
Gambar 4.5. Hubungan Kadar Plastik dengan Kehilangan Berat pada Aspal Modifikasi.....	52
Gambar 4.6. Hubungan Kadar Plastik dengan Berat Jenis pada Aspal Modifikasi	53
Gambar 4.7. Hasil penelitian terdahulu untuk uji penetrasi	56
Gambar 4.8. Hasil Penelitian penulis untuk uji penetrasi.....	56
Gambar 4.9. Hasil Penelitian Terdahulu untuk Uji Daktilitas.....	56
Gambar 4.10. Hasil Penelitian Penulis untuk Uji Daktilitas	56
Gambar 4.11. Hasil Penelitian Terdahulu untuk Uji Titik Lembek	57
Gambar 4.12. Hasil Penelitian Penulis untuk Uji Titik Lembek.....	57
Gambar 4.13. Grafik Analisis Saringan Agregat 10 - 20..	64
Gambar 4.14. Grafik Analisis Saringan Agregat 10 - 10.	64
Gambar 4.15. Grafik Analisis Saringan Agregat 5 - 10.	65
Gambar 4.16. Grafik Analisis Saringan Agregat 0 – 5.....	65
Gambar 4.17. Grafik Blending Agregat	70

Gambar 4.18. Grafik hubungan antara Kadar Aspal dengan Density hasil pengujian.....	79
Gambar 4.19. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan VIM hasil pengujian.....	80
Gambar 4.20. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan VMA hasil pengujian.....	82
Gambar 4.21. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan VFA hasil pengujian.....	83
Gambar 4.22. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas hasil pengujian.....	84
Gambar 4.23. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan flow hasil pengujian.....	85
Gambar 4.24. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan Marshall Quotient hasil pengujian.....	86
Gambar 4.25. Grafik peninjauan VIM untuk penentuan KAO. .	87
Gambar 4.26. Grafik peninjauan VMA untuk penentuan KAO. .	88
Gambar 4.27. Grafik peninjauan VFA untuk penentuan KAO. .	88
Gambar 4.28. Grafik peninjauan stabilitas untuk penentuan KAO.	89
Gambar 4.29. Grafik peninjauan flow untuk penentuan KAO....	89
Gambar 4.30. Grafik Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Berat Jenis Campuran Aspal Modifikasi.	97
Gambar 4.31. Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VIM Campuran Aspal Modifikasi	98
Gambar 4.32. Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VMA Campuran Aspal Modifikasi	100
Gambar 4.33. Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VFA Campuran Aspal Modifikasi	102
Gambar 4.34. Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi	103
Gambar 4.35. Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Flow Campuran Aspal Modifikasi	105
Gambar 4.36. Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Marshall Quotient Campuran Aspal Modifikasi.....	106

Gambar 4.37. Grafik peninjauan Berat Jenis untuk penentuan Kadar Plastik Optimum.	108
Gambar 4.38. Grafik peninjauan VIM untuk penentuan Kadar Plastik Optimum.	108
Gambar 4.39. Grafik peninjauan VMA untuk penentuan Kadar Plastik Optimum.	109
Gambar 4.40. Grafik peninjauan VMA untuk penentuan Kadar Plastik Optimum.	110
Gambar 4.41. Grafik Peninjauan Stabilitas untuk Penentuan Kadar Plastik Optimum.	110
Gambar 4.42. Grafik Peninjauan Flow untuk Penentuan Kadar Plastik Optimum.	111
Gambar 4.43. Grafik Peninjauan Marshall Quotient untuk Penentuan Kadar Plastik Optimum	112
Gambar 4.44. Pengujian SEM Aspal Konvensional perbesaran 1000 kali.	116
Gambar 4.45. Pengujian SEM Aspal Konvensional perbesaran 5000 kali.	116
Gambar 4.46. Pengujian SEM aspal plastik perbesaran 1000 kali.	116
Gambar 4.47. Pengujian SEM aspal plastik perbesaran 5000 kali.	116

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. .Ketentuan sifat – sifat campuran laston	9
Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Kasar Laston	10
Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Halus	11
Tabel 2.4. Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk campuran aspal.....	11
Tabel 2.5. Ketentuan untuk aspal keras.....	12
Tabel 2.6. Hasil penetrasi aspal modifikasi dengan penambahan plastik LLDPE.....	22
Tabel 2.7. Hasil Pengujian Stabilitas.....	26
Tabel 2.8. Karakteristik aspal dengan tambahan polyethylene. .	29
Tabel 2.9. Karakteristik aspal modifikasi dengan penambahan LDPE.....	31
Tabel 2.10. Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu	33
Tabel 2.11. Lanjutan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu ..	34
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	45
Tabel 4.2. Hasil Uji Penetrasi Aspal dengan penambahan LDPE	46
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Modifikasi	47
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Modifikasi	49
Tabel 4.5. Hasil pengujian Daktilitas Aspal Modifikasi	50
Tabel 4.6. Hasil Uji Kehilangan Berat Aspal Modifikasi	52
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal Modifikasi	53
Tabel 4.8. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi	54
Tabel 4.9. Lanjutan Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi	54
Tabel 4.10. Hasil penelitian terdahulu.....	55
Tabel 4.11. Hasil penelitian penulis	55
Tabel 4.12. Hasil Pengujian Penelitian Terdahulu	58
Tabel 4.13. Hasil Pengujian Penelitian Penulis.....	58
Tabel 4.14. Berat Kering Tertahan Agregat 0 - 5.....	59
Tabel 4.15. Hasil Analisis Saringan Agregat 0 - 5	60
Tabel 4.16. Hasil Analisis Saringan Agregat 10 - 20.....	61

Tabel 4.17. Hasil Analisis Saringan Agregat 10 – 10.	62
Tabel 4.18. Hasil Analisis Saringan Agregat 5 - 10.	63
Tabel 4.19. Hasil Pengujian Fisik Agregat.....	66
Tabel 4.20. Rekapitulasi hasil pengujian fisik agregat.....	67
Tabel 4.21. Hasil Analisis Saringan Agregat	69
Tabel 4.22. Hasil Blending Agregat.....	69
Tabel 4.23. Lanjutan Hasil Blending Agregat.....	70
Tabel 4.24. Variasi campuran kadar aspal 4,17 %	74
Tabel 4.25. Variasi campuran kadar aspal 4,67 %	75
Tabel 4.26. Variasi campuran kadar aspal 5,17 %	75
Tabel 4.27. Variasi campuran kadar aspal 5,67 %	75
Tabel 4.28. Variasi campuran kadar aspal 6,17%	76
Tabel 4.29. Hasil Pengujian Marshall KAO.....	76
Tabel 4.30. Lanjutan Hasil Pengujian Marshall KAO	77
Tabel 4.31. Berat Jenis Maksimum Agregat Gabungan.....	78
Tabel 4.32. Hasil Density KAO	78
Tabel 4.33. Hasil VIM KAO	80
Tabel 4.34. Hasil VMA KAO	81
Tabel 4.35. Hasil VFA KAO.....	83
Tabel 4.36. Hasil Stabilitas KAO.....	84
Tabel 4.37. Hasil Flow KAO.....	85
Tabel 4.38. Hasil MQ KAO	86
Tabel 4.39. Rekapitulasi dari grafik penentuan kadar aspal optimum	90
Tabel 4.40. Variasi 1 Proporsi Aspal Plastik.....	91
Tabel 4.41. Variasi 2 Proporsi Aspal Plastik.....	92
Tabel 4.42. Variasi 3 Proporsi Aspal Plastik.....	92
Tabel 4.43. Variasi 4 Proporsi Aspal Plastik.....	93
Tabel 4.44. Variasi 5 Proporsi Aspal Plastik.....	93
Tabel 4.45. Variasi 6 Proporsi Aspal Plastik.....	94
Tabel 4.46. Hasil Bacaan Pengujian Alat Marshall dan Berat Campuran.	95
Tabel 4.47. Berat Jenis Teori Maksimum Campuran dengan Aspal Plastik.....	96
Tabel 4.48. Hasil Analisis Berat Jenis Campuran.	96

Tabel 4.49. Hasil Analisis VIM Campuran	98
Tabel 4.50. Hasil Analisis VMA Campuran	100
Tabel 4.51. Hasil Analisis VFA Campuran.....	101
Tabel 4.52. Hasil Pengujian Stabilitas Campuran	103
Tabel 4.53. Hasil Pengujian Flow Campuran.....	104
Tabel 4.54. Hasil Analisis Pengujian MQ Campuran	106
Tabel 4.55. Pengecekan Rekapitulasi Analisis Parameter Pengujian Marshall Aspal Plastik.....	113
Tabel 4.56. Perhitungan Parameter Marshall pada Kadar Plastik Optimum.....	114
Tabel 4.57. Perhitungan Karakteristik Aspal Modifikasi pada kadar plastik optimum.....	115

“Halaman Ini Sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Proses pembuatan benda uji.....	127
Lampiran 2. Logbook Penelitian	128
Lampiran 3. Dokumentasi Pengujian Aspal.....	134
Lampiran 4. Dokumentasi Pengujian Agregat	139
Lampiran 5. Dokumentasi Pembuatan Campuran.....	143
Lampiran 6. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat dan Penyerapan	145
Lampiran 7. Pengujian Berat Jenis Aspal.....	149
Lampiran 8. Pengujian Titik Lembek.....	151
Lampiran 9. Pengujian Penetrasi.....	153
Lampiran 10. Pengujian Kehilangan Berat	154
Lampiran 11. Hasil pengujian Marshall, Flow, Marshall Quotient	155
Lampiran 12. Hasil Pengujian dan Perhitungan Nilai VIM	158
Lampiran 13. Hasil Pengujian dan Perhitungan Nilai VMA.....	160
Lampiran 14. Hasil Pengujian dan Perhitungan Nilai VFA	162

“Halaman Ini Sengaja dikosongkan”

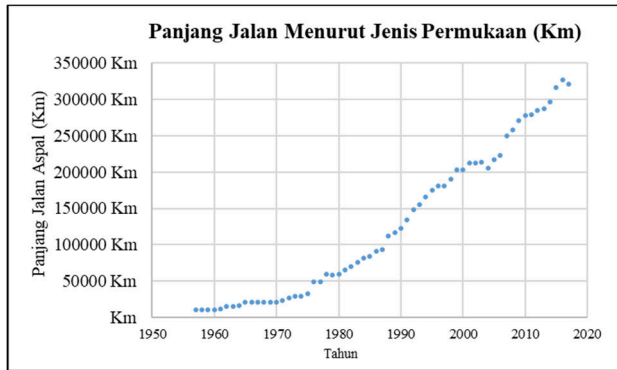
BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Plastik merupakan bahan yang sering digunakan oleh semua kalangan masyarakat dalam kehidupan sehari - sehari, mulai dari bungkus suatu barang hingga bahan dasar pembuatan perabot rumah tangga. Terdapat 275 juta ton limbah plastik dihasilkan di 192 negara pesisir pada tahun 2010, dengan jumlah 4,8 - 12,7 juta ton memasuki lautan. Indonesia menduduki peringkat kedua sebagai negara dengan sampah plastik tak terkelola terbanyak di dunia, yaitu 3,22 juta ton sampah plastik (Jenna R. Jambeck, 2015). Dampak dari sampah plastik sangatlah berbahaya, diantaranya dapat berbahaya bagi kesehatan manusia, mencemari lingkungan, memicu terjadinya perubahan iklim, dan sampah plastik lama terurai. Plastik diperkirakan membutuhkan 100 hingga 500 tahun hingga dapat terdekomposisi (terurai) dengan sempurna (Karuniastuti, 2017). Sehingga permasalahan serius terkait sampah plastik harus dijawab dengan solusi yang tepat.

Indonesia dari Tahun 1957 hingga Tahun 2017 terus mengalami peningkatan jumlah panjang jalan beraspal, di mana Tahun 1957 jumlah panjang jalan beraspal 10.047 Km dan Tahun 2017 sepanjang 321.093 Km. Hingga saat ini (Tahun 2019), pemerintah terus melaksanakan pembangunan jalan beraspal guna memenuhi kebutuhan akan transportasi darat yang semakin meningkat, sehingga kebutuhan material pembuat jalan beraspal terutama aspal semakin meningkat. Indonesia. Produksi aspal yang dihasilkan PT. Wijaya Karya Tbk (WIKA) hanya mampu memproduksi asbuton (Aspal Buton, Aspal yang beraspal dari Pulau Buton) 2000 Ton pada Juni dan Juli 2018, sedangkan kebutuhan aspal pertahun di Indonesia mencapai 1,08 Juta ton pada Tahun 2018. Sehingga diperlukan solusi untuk mengurangi penggunaan aspal pertahun (CNBC, 2019).



Gambar 1.I.1. Grafik jumlah panjang jalan beraspal Tahun 1957 – Tahun 2017.
(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2017)

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat melalui Badan Penelitian dan Pengembangan (Balitbang) melakukan penelitian mengenai penambahan plastik pada campuran aspal sebagai solusi dalam mengurangi permasalahan sampah plastik (Balitbang & BBPJJN V Surabaya, 2018). Melalui kerja sama antara Balitbang dengan Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional (BBPJJN) V Surabaya melakukan uji skala penuh penerapan teknologi aspal limbah plastik di Ruas Jalan Nasional Gempol - Bts. Kota Bangil (Km 35+800 – 36+800). BBPJJN VI Surabaya dan Balitbang menggunakan limbah plastik jenis LDPE pada penelitian ini. penambahan 6% limbah plastik kresek (LDPE) terhadap berat aspal pada campuran beraspal panas, menunjukkan peningkatan nilai stabilitas sebesar 40% dan lebih tahan terhadap deformasi serta retak leleh.



Gambar 1.I.2. Uji Gelar Teknologi Aspal Plastik di Pasuruan.
(Pusjatan, 2016)

Penambahan limbah plastik LDPE pada campuran aspal panas dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu metode basah (plastik LDPE dimasukkan ke dalam aspal) dan metode kering (plastik LDPE dicampurkan pada agregat panas) (Balitbang & BBPJJN V Surabaya, 2018). Pencampuran plastik dengan cara basah menghasilkan stabilitas *Marshall* lebih tinggi dari cara kering. Hal ini kemungkinan disebabkan pada campuran secara basah plastik yang ditambahkan selurnya dapat bercampur dengan aspal, sedangkan cara kering kemungkinan sebagian plastik menempel ke wadah tempat pencampuran (Suroso, 2008).

Berdasarkan uraian di atas, jumlah limbah plastik tak terkontrol sangat banyak sehingga dapat memberikan dampak yang serius bagi lingkungan. Sehingga, diperlukan inovasi solutif untuk mengurangi limbah plastik dengan melakukan penelitian tentang **“Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) dengan Metode Basah pada Campuran Laston Lapis Pondasi Terhadap Parameter Uji *Marshall*”**

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rencana proporsi campuran AC – Base dengan tambahan plastik jenis LDPE ?
2. Bagaimana karakteristik aspal setelah dicampurkan dengan limbah plastik jenis low density polyethylene (LDPE) dengan cara basah ?
3. Bagaimana morfologi campuran antara aspal dengan kantong plastik LDPE dari segi uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*) ?
4. Bagaimana pengaruh penambahan limbah plastik jenis low density polyethylene (LDPE) pada campuran laston lapis pondasi terhadap parameter uji *marshall* ?

1.3. Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan dari penelitian ini :

1. Mengetahui rencana proporsi campuran laston lapis pondasi dengan tambahan plastik jenis LDPE.
2. Mengetahui karakteristik aspal setelah dicampurkan dengan limbah plastik jenis low density polyethylene (LDPE) dengan cara basah.
3. Mengetahui morfologi campuran antara aspal dengan kantong plastik LDPE dari segi uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*).
4. Mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik jenis low density polyethylene (LDPE) pada campuran laston lapis pondasi terhadap parameter uji marshall yang meliputi *Density, Void In Mix (VIM), Void In Mineral Agregat (VMA), Void In Filled With Asphalt (VFA), Stabilitas Marshall, Kelelahan (Flow), Marshall Quotient (MQ)*.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Jenis plastik yang digunakan adalah *Low Density Polyethylene* (LDPE).
2. Jenis aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70.
3. Jenis perkerasan yang ditinjau adalah *Asphalt Concrete – Base* (AC – Base).

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Membantu memberikan solusi inovatif dalam mengurangi sampah plastik di lingkungan sekitar.

“Halaman Ini Sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Laston

2.1.1. Pengertian Laston

Campuran beraspal adalah suatu kombinasi campuran antara agregat dan aspal (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, 2002). Aspal berperan sebagai pengikat atau lem antar partikel agregat, dan agregat berperan sebagai tulangan. Sifat aspal dan agregat dalam bekerja sama berpengaruh terhadap stabilitas campuran beraspal yang diinginkan. Sifat – sifat agregat yang mempengaruhi kinerja campuran beraspal meliputi ikatan antar butir agregat (interlocking) yang dipengaruhi oleh gradasi agregat, tekstur permukaan, bentuk butiran, dan ukuran agregat maksimum yang digunakan. Sedangkan beberapa sifat aspal, berupa durabilitas, adesi dan kohesi, kepekaan aspal terhadap temperature, serta pengerasan/ penuaan. Untuk menghasilkan campuran beraspal yang sesuai dengan persyaratan, maka bahan pembentuknya harus memenuhi syarat dengan metode kerja serta peralatan telah sesuai juga.

Berdasarkan gradasinya campuran beraspal panas dibagi menjadi tiga jenis yaitu campuran beraspal bergradasi rapat, senjang dan terbuka. Beberapa jenis campuran aspal yang sering digunakan di Indonesia adalah :

- a. Laston (lapis beton aspal) atau AC (*Asphalt Concrete*).
- b. lataston (lapis tipis beton aspal) atau HRS (*Hot Rolled Sheet*)
- c. latasir (lapis tipis aspal pasir) atau HRSS (*Hot Rolled Sand Sheet*)

Lapis beton aspal (Laston) adalah Aspal beton adalah bahan komposit yang terdiri dari partikel agregat, bitumen, udara, dan

komponen lain seperti aditif, pengubah, denda, dan air dalam cairan atau bentuk uap (Richard Kim, 2008)

Berdasarkan spesifikasi umum bina marga tahun 2018 seksi 6.3, Lapis aspal beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, berdasarkan fungsinya terdiri dari tiga jenis, yaitu : AC Lapis Aus (AC-WC); AC Lapis Antara (*AC-Binder course*, Ac – BC) dan AC lapis fondasi (*AC-Base*).

- a. AC - WC adalah lapis perkerasan yang terletak paling atas. harus kuat dan tahan terhadap perubahan bentuk terhadap beban kendaraan serta harus memiliki permukaan yang halus untuk kenyamanan berkendara. AC – WC juga harus bersifat kedap air untuk melindungi seluruh permukaan dan lapis di bawahnya dari air (Huang, 2004).
- b. AC – BC adalah lapis perkerasan di bawah AC – WC (Huang, 2004).
- c. AC – Base adalah lapis permukaan di bawah lapis perkerasan AC – BC. AC – Base biasanya terdiri dari batu yang dihancurkan dan terak yang dihancurkan (*crushed slag*) (Huang, 2004).



Gambar II2.II.1. Ilustrasi Laston
(Sumber : www.google.com)

2.1.2. Spesifikasi campuran laston

(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) ketentuan sifat – sifat campuran laston ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2.II.1. .Ketentuan sifat – sifat campuran laston

sifat - sifat campuran		laston		
		lapis aus	lapis antara	lapis pondasi
jumlah tumbukan per bidang		75		112
rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	min	0,6		
	max	1,2		
rongga dalam Campuran (%)	min	3		
	max	5		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	min	65	65	65
Stabilitas marshall (Kg)	min	800		1800
Pelelehan (mm)	min	2		3
	max	4		6
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 C	min	90		
rongga dalam Campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)		2		

(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018)

2.1.3. Spesifikasi Agregat (umum)

(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) ketentuan agregat secara umum yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

1. Penyerapan air oleh agregat maksimum 3%.
2. Berat jenis (*Specific Gravity*) agregat kasar dan halus tidak boleh berbeda lebih dari 0,2.

2.1.4. Spesifikasi Agregat Kasar

(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) ketentuan agregat kasar yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

Tabel 2.II.2. Ketentuan Agregat Kasar Laston

Pengujian		metode pengujian	nilai
Kekentalan Bentuk Agregat Terhadap	Natrium Sulfat	SNI 3407 : 2008	maks. 12%
	Magnesium Sulfar		Maks. 18%
Abrasi dengan Mesin Los Angeles	Campuran AC	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90
	Lainnya		95/90
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10	Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200		SNI ASTM C117 : 2012	Maks 1%

(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018)

2.1.5. Spesifikasi Agregat Halus

(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) ketentuan agregat halus yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

Tabel 2.II.3. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03 - 4428 - 1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pematatan	SNI 03 - 6877 - 2002	Min. 45%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03 - 4141 - 1996	Maks. 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117 : 2012	Maks. 10%

(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018)

2.1.6. Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan

(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) ketentuan agregat halus yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

Tabel 2.II.4. Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk campuran aspal

ukuran ayakan		% berat yang lolos terhadap total agregat
		Laston (AC)
ASTM	mm	AC - BC
1 1/2"	37,5	-
1"	25	100
3/4"	19	90 - 100
1/2"	12,5	75 - 90
3/8"	9,5	66 - 82
No.4	4,75	46 - 64
No.8	2,36	30 - 49
No. 16	1,18	18 - 38
No. 30	0,6	12 - 28
No. 50	0,3	7 - 20
No. 100	0,15	5 - 13
No. 200	0,075	4 - 8

(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018)

2.1.7. Spesifikasi Bahan Aspal

(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) ketentuan bahan aspal yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

Tabel 2.II.5. Ketentuan untuk aspal keras.

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen 60 - 70
1	Penetrasi pada 25 °C (0,1 mm)	SNI 2456-2011	60-70
2	Viskositas Kinematis 135 °C (cSt)	ASTM D2170 - 10	≥300
3	Titik Lembek (°C)	SNI 2434 - 2011	≥48
4	Daktilitas pada 25 °C, (cm)	SNI 2432 - 2011	≥100
5	Titik Nyala (°C)	SNI 2433 - 2011	≥232
6	Kelarutan dalam trichloroethylene (%)	AASHTO T44 - 14	≥99
7	Berat Jenis	SNI 2441 - 2011	≥1.0
8	Stabilitas Penyimpanan (°C)	ASTM D5976 - 00 part 6.1 dan SNI 2434 : 2011	-

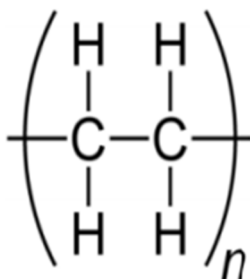
(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018)

2.2. Low Density Polyethylene (LDPE)

Polyethylene adalah polymer berjenis termoplastik, yaitu polimer plastik yang yang menjadi lentur atau dapat dicetak pada suhu tinggi tertentu dan mengeras pada saat dingin. Polyethylene memiliki beberapa tipe, namun tipe LDPE (Low Density Polyethylene), LLDPE (Low Linier Density Polyethylene), dan HDPE (High Density Polyethylene) yang sering digunakan digunakan dalam kehidupan sehari – hari. HDPE memiliki ciri – ciri titik leleh yang lebih tinggi dari LDPE, Kekakuan yang tinggi, serta daya susut yang rendah, sehingga biasa digunakan sebagai

botol minuman ringan, botol susu, wadah untuk beberapa jenis bahan kimia di industry kimia. LDPE sering digunakan sebagai wadah kantong kresek, mainan, dan bungkus kabel.

Plastik merupakan bahan yang dapat dilunakkan dan memiliki kekristalan yang lebih rendah dibandingkan dengan serat. Komponen utama plastik sebelum membentuk polimer adalah monomer, yakni rantai yang paling pendek. Polimer merupakan gabungan dari beberapa monomer yang akan membentuk rantai yang sangat panjang (Vuri, 2017). Plastik LDPE memiliki ciri kuat, agak tembus cahaya, fleksibel dan permukaan agak berlemak. LDPE mempunyai massa jenis antara 0,91-0,94 gmL⁻¹, separuhnya berupa kristalin (50- 60%) dan memiliki titik leleh 150C (Billmeyer Jr, 1984). LDPE memiliki derajat kristalinitasnya 60%, polietilen merupakan polimer yang Kristal dan mempunyai sifat hydrophob tinggi dengan energy permukaan rendah (Sarengat, 2011).



Gambar II.2.II.2. Molekul Polyethylene
(Sumber : Sadeque & Patil, 2013)



Gambar 2.II.3. *Resin ID Code* untuk LDPE
(Sumber : www.google.com)



Gambar 2.II.4. Kantong Plastik Jenis LDPE
(Sumber : www.google.com)

2.3. Perencanaan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah kadar aspal yang akan menghasilkan sifat karakteristik terbaik pada suatu campuran aspal (Febrianto, Setyawan, & Sarwono, 2014). Dalam merencanakan campuran aspal, perlu dilakukan perhitungan kadar aspal optimum (Pb) sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% FF) + \text{Konstanta} \dots\dots\dots \text{Pers. 2. 1.}$$

Keterangan :

- Pb = kadar aspal tengah atau ideal (persen terhadap berat campuran).....(%)

- CA = persen agregat tertahan saringan No. 8...(%)
- FA = persen agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200.....(%)
- FF = (filler), persen agregat minimal 75% lolos saringan No.200.....(%)
- Konstanta = nilai konstanta digunakan ± 0.5 untuk laston

2.4. Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengukur campuran aspal terhadap daya tahan (stabilitas) dan alir/ kelelahan plastis (*flow*). (Pustran - Balitbang PU, 1991) Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) yang dinyatakan dalam kilogram. Alir (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam mm. Stabilitas dan alir (*flow*) memiliki hubungan saling berbanding terbalik. Alat yang digunakan adalah alat *marshall*.

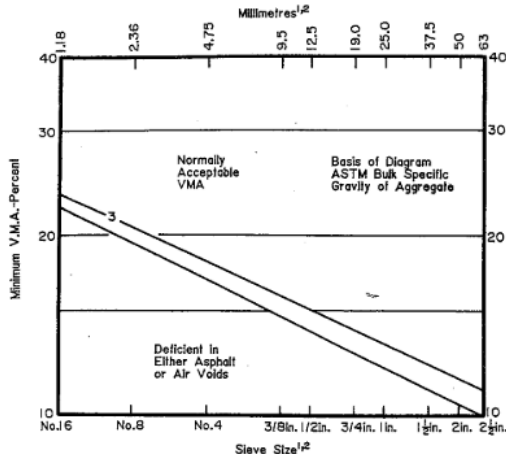
2.4.1. Parameter pengujian *Marshall*

A. Kerapatan (*Density*)

Kerapatan (*density*) adalah berat campuran aspal total per satuan volume. (Roberts, Kandahal, Brown, Lee, & Kennedy, 1996) Peningkatan kerapatan dapat dicapai dengan dilakukan pemadatan, penambahan kadar aspal, penambahan *filler*, serta metode lain yang dapat mengurangi kekosongan ruang di dalam campuran beraspal. Dengan dilakukannya pemadatan akan memberikan gaya pada antar partikel agregat agar saling berdekatan, sedangkan penambahan kadar aspal dan *filler* akan mengisi *void* pada campuran aspal. nilai kadar aspal naik maka *density* ikut naik sampai mencapai puncak kemudian akan turun. Penting bahwa penambahan kadar aspal dapat meningkatkan kerapatan campuran aspal, tetapi tidak selalu memberikan dampak positif pada kinerja campuran.

B. Rongga dalam Agregat / *Void In Mineral Agregate* (VMA)

(Roberts et al., 1996) VMA adalah volume total rongga (*void*) dalam campuran yang telah dipadatkan. Total *void* dalam campuran sangat berpengaruh pada performa campuran, karena jika rongga dalam campuran beraspal terlalu rendah maka akan muncul masalah pada *durability*, dan jika rongga dalam campuran beraspal terlalu tinggi maka akan muncul masalah pada stabilitas. VMA terdiri dari dua komponen, yaitu rongga pada campuran yang diisi oleh aspal dan rongga yang diisi oleh udara untuk tujuan ruang lebih saat terjadi pemuaian di masa pelayanan bercuaca panas. VMA dinyatakan dalam persentase terhadap berat total campuran aspal. Batas minimum VMA tergantung pada ukuran maksimum agregat yang digunakan. Hubungan antara kadar aspal dengan VMA pada umumnya membentuk cekungan dengan satu nilai minimum, kemudian naik lagi dengan naiknya kadar aspal.



Gambar 2.II.5. Grafik hubungan antara VMA minimum dengan ukuran agregat maksimum yang digunakan.

(Roberts et al., 1996)

Persamaan VMA :

$$100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 - P_b} \times 100 \dots\dots\dots \text{Pers 2. 2}$$

Keterangan :

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume *bulk*.....(%)

Gsb = Berat jenis bulk agregat.....(gr/cc)

Gmb = Berat jenis bulk campuran.....(gr/cc)

Pb = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran.....(%)

C. Rongga dalam Campuran/ Void In Mix (VIM)

(Roberts et al., 1996) Void In Mix (VIM) adalah total rongga dalam campuran beraspal yang telah dipadatkan dan terisi oleh udara untuk ruang lebih saat terjadi pemuaian. Rongga udara merupakan indikator durabilitasnya campuran beraspal sedemikian sehingga rongga tidak terlalu kecil atau terlalu besar. Jika rongga udara terlalu kecil dapat menimbulkan *bleeding* serta campuran beraspal akan makin kedap terhadap air, tetapi udara tidak dapat masuk kedalam lapisan beraspal sehingga aspal menjadi rapuh dan getas. Semakin besar rongga udara dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan lebih cepat. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Untuk nilai syarat persen VIM ditentukan berdasarkan jenis lapisan permukaan yang dipilih misalnya untuk lapisan *Asphalt Concrete* (AC) atau biasa dikenal dengan aspal beton nilainya antara 3 - 5 %.

Persamaan VIM :

$$\text{VIM} = 100 \times \frac{\text{Gmm} - \text{Gmb}}{\text{Gmm}} \dots\dots\dots \text{Pers. 2. 3.}$$

Keterangan :

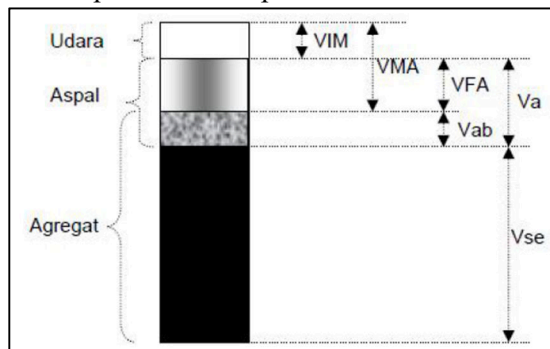
VIM : Rongga udara dalam campuran.....(%)

Gmm : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran.....(gr/cc)

D. Rongga Terisi Campuran Beraspal /Void In Filled With Asphalt (VFA)

(Roberts et al., 1996) Void In Filled With Asphalt (VFA) adalah total volume rongga yang terisi oleh aspal pada campuran aspal setelah pemadatan. Kriteria VFA bertujuan menjaga keawetan campuran beraspal dengan memberi batasan yang cukup. Pada gradasi yang sama, semakin tinggi nilai VFA semakin banyak kadar aspal campuran tersebut. Sehingga kriteria VFA dapat menggantikan kriteria kadar aspal dan tebal lapisan film aspal (*asphalt film thickness*). Nilai VFA yang terlalu tinggi dapat menyebabkan naiknya aspal ke permukaan saat suhu perkerasan tinggi. Sedangkan VFA yang terlalu rendah berarti campuran bersifat porous dan mudah teroksidasi.



Gambar 2.II.6. Volumetrik Campuran Aspal.
(Sumber : Sukirman, 2003)

E. Stabilitas *Marshall*

(Roberts et al., 1996) Stabilitas *Marshall* adalah beban maksimum yang mampu diterima oleh campuran beraspal yang telah dipadatkan dan kemudian diuji pada suhu 60 °C dengan laju pembebanan 2 inci / menit (50,8mm /menit). Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, memiliki kebutuhan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya, perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas ringan tentu tidak perlu menggunakan perkerasan jalan dengan stabilitas yang tinggi.

F. Kelelahan (*Flow*)

(Roberts et al., 1996) Kelelahan (*flow*) diukur bersamaan dengan stabilitas *marshall* saat pengujian *Marshall*. *Flow* adalah sama dengan deformasi vertikal pada sampel campuran beraspal (diukur dari saat dimulai pembebanan sampai suatu saat dimana deformasi mulai terjadi penurunan). Nilai kelelahan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain gradasi, kadar aspal, bentuk dan permukaan agregat. Nilai *flow* yang terlalu tinggi mengindikasikan campuran yang bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban, sedangkan *flow* yang terlalu rendah mengisyaratkan campuran tersebut memiliki rongga tak terisi aspal yang lebih tinggi dari kondisi normal, atau kandungan aspal yang terlalu rendah sehingga berpotensi retak dini dan durabilitas rendah.

G. *Marshall Quotient*

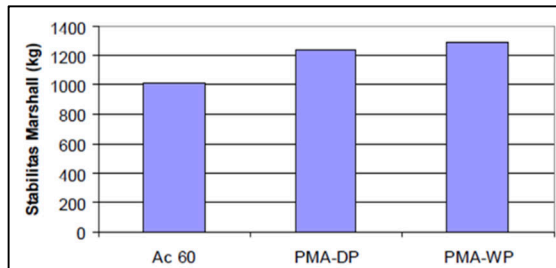
Marshall Quotient merupakan rasio dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran. Nilai *Marshall Quotient* yang tinggi menunjukkan nilai kekakuan lapis keras yang tinggi. Lapis keras yang

mempunyai nilai *Marshall Quotient* terlalu tinggi akan mudah terjadi retak-retak akibat beban lalu lintas yang berulang-ulang. Sebaliknya, nilai *Marshall Quotient* yang terlalu rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel (plastis) yang mengakibatkan lapis keras akan mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas.

2.5. Penelitian Terdahulu

Penelitian campuran aspal plastik telah banyak dilakukan peneliti terdahulu, sehingga penelitian yang akan dilakukan penulis terdapat beberapa kesamaan dengan penelitian terdahulu. Berikut uraian penelitian terdahulu :

1. Peneliti : Tjitjik suroso wasiah
Judul penelitian : Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density PolyEthilen) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal
Tahun : 2008
Tujuan Penelitian :
 - Untuk Mengetahui pengaruh metode pencampuran plastik LDPE dengan cara basah dan cara kering, terhadap kinerja campuran beraspal.Hasil :
 - Pencampuran cara basah lebih baik dari cara kering Stabilitas dinamis campuran basah (lebih tinggi 7,1%), kecepatan deformasi campuran cara kering 20% lebih rendah dari campuran cara basah. Hal ini kemungkinan disebabkan pada campuran secara basah plastik yang ditambahkan seluruhnya dapat bercampur dengan aspal



Gambar 2.II.7. Pengaruh cara pencampuran / penambahan plastik mutu rendah Jenis LDPE terhadap nilai stabilitas *Marshall*.

Keterangan

PMA – DP : Aspal polimer dengan pencampuran polimer plastik kedalam agregat panas (cara kering, dry process).

PMA – WP : Aspal polimer dengan pencampuran polimer/ plastik kedalam aspal (cara basah, wet process).

2.

Peneliti : Priyo Pratomo, Hadi Ali, Sepriskha Diansari.

Judul penelitian : Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik Low Linear Density Poly Ethylene (LLDPE) Ditinjau dari Karakteristik *Marshall* dan Uji Penetrasi pada Lapisan Aspal Beton (AC-BC).

Tahun : 2016

Tujuan Penelitian :

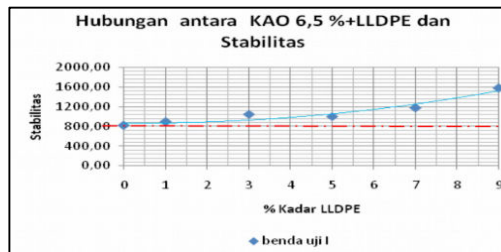
- Meninjau dampak penambahan plastik low linear density polyEthylene (LLDPE) dalam campuran lapisan AC-BC.

Hasil :

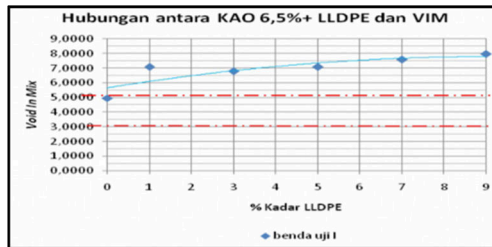
- Nilai penetrasi pada aspal campuran plastik LLDPE mengalami penurunan.
- nilai stabilitas semakin bertambahnya kadar LLDPE semakin bertambah nilai stabilitasnya.
- nilai VIM tidak ada yang memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga 2010 revisi I.

Tabel 2.II.6. Hasil penetrasi aspal modifikasi dengan penambahan plastik LLDPE

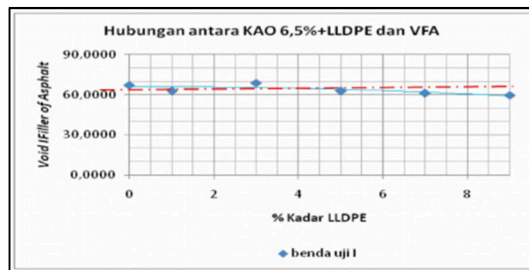
Persen penambahan	1%	3%	5%	7%	9%
Nilai penetrasi	61	55,4	47,5	45,5	43,5



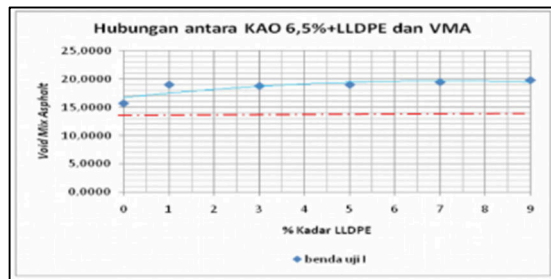
Gambar 2.II.8. Grafik hubungan antara KAO 6,5% + LLDPE dan stabilitas



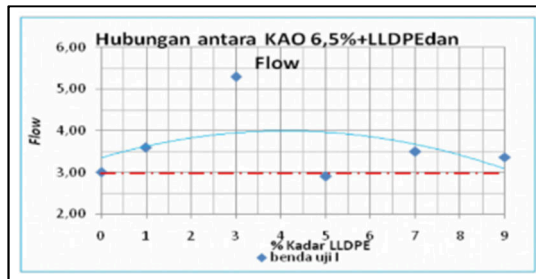
Gambar 2.II.9. Grafik hubungan antara KAO 6,5% + LLDPE dan VIM.



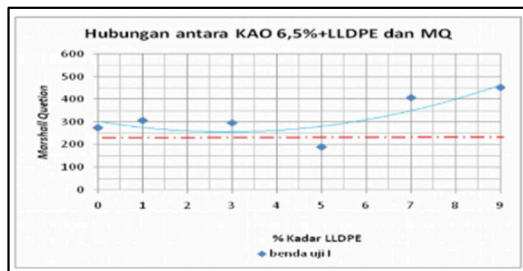
Gambar 2.II.10. Grafik Hubungan Antara KAO 6,5% + LLDPE dan VFA.



Gambar II2.II.11. Grafik Hubungan Antara KAO 6,5% + LLDPE dan VMA



Gambar II.12. Grafik Hubungan Antara KAO 6,5% + LLDPE dan flow



Gambar II.13. Grafik Hubungan Antara KAO 6,5% + LLDPE dan MQ

3. Peneliti : Moh. Firli Firdausi.
 Judul penelitian : Pemanfaatan Limbah Plastik Low Density Poly Ethilen (Ldpe) Pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) Sebagai Inovasi Green Environment Material.
 Tahun : 2019
 Tujuan penelitian :
 - analisis dan evaluasi campuran AC-BC dengan tambahan plastik Low Density PolyEthilane (LDPE) yang dilakukan menggunakan metode kering
 Hasil :

- Campuran aspal pada Laston lapis antara (AC - Base) yang memenuhi parameter *Marshall* berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 adalah campuran aspal dengan kadar aspal optimum 5,65% dan kadar LDPE sebesar 6% dari total berat aspal.
- Nilai Stabilitas *Marshall* campuran aspal dengan tambahan LDPE lebih tinggi dari pada campuran aspal konvensional.
- Berdasarkan hasil analisis parameter pengujian *marshall* campuran dengan kadar aspal 5.65 % memiliki density sebesar 2.37 gr/cc, stabilitas sebesar 2079.7 Kg, flow sebesar 4.16 mm, VIM sebesar 4.43%, VMA sebesar 14.614%, VFA sebesar 80.0% dan nilai MQ sebesar 456.07 Kg/mm.

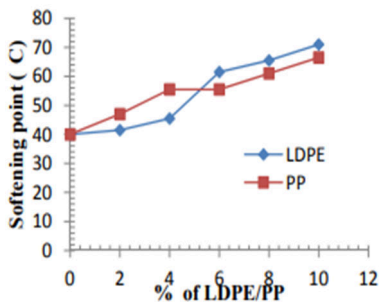
Tabel 2.II.7. Hasil Pengujian Stabilitas

Kadar Aspal	Kadar Plastik	Stabilitas	Syarat	Ket
			>800	
%	%	Kg	Kg	OK/NO
5.15 %	0	1466	800	OK
	2	1309.3	800	OK
	4	1720.6	800	OK
	6	1783.9	800	OK
5.65 %	0	1781.4	800	OK
	2	1813.6	800	OK
	4	1930.8	800	OK
	6	2079.7	800	OK
6.15 %	0	1483.8	800	OK
	2	1457.9	800	OK
	4	1606.5	800	OK
	6	2048.1	800	OK
6.65 %	0	1490.3	800	OK
	2	1844.7	800	OK
	4	2106.7	800	OK
	6	2126.7	800	OK
7.15 %	0	1593.3	800	OK
	2	1848.7	800	OK
	4	1774.5	800	OK
	6	1877.8	800	OK

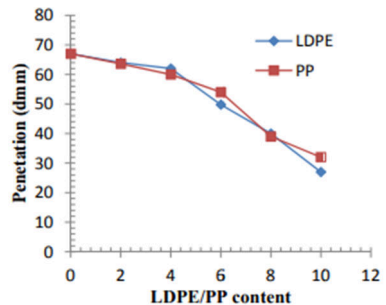
4. Peneliti : Mohammed Sadeque , DR.K.A.Patil
 Judul penelitian : *Rheological Properties Of Recycled Low Density Polyethylene And Polypropylene Modified Bitumen*
 Tahun : 2013
 Tujuan penelitian :
 - Meninjau sifat – sifat rologi campuran antara aspal dengan *Low Density Polyethylene* dan *Polypropylene*.

Hasil :

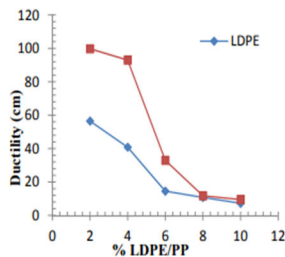
- Nilai penetrasi aspal modifikasi menurun seiring dengan peningkatan persentase LDPE. Nilai penetrasi menurun dari 50 dmm hingga 26 dmm saat kadar LDPE meningkat dari 6% menjadi 10%.
- Titik leleh aspal meningkat seiring dengan peningkatan kadar LDPE. Titik leleh aspal modifikasi meningkat dari 40°C menjadi 70°C untuk kadar LDPE 10%.
- Daktilitas aspal modifikasi Menurun seiring dengan peningkatan kadar LDPE. Daktilitas aspal modifikasi menurun dari 100 cm menjadi 58 cm.



Gambar II.2.II.14. Pengaruh LDPE pada uji titik leleh



Gambar 2.II.15. Pengaruh LDPE pada uji penetrasi



Gambar 2.II.16. Dampak LDPE pada uji daktilitas

5.

Peneliti : Md. Nobinur Rahman, Mohammad Ahmeduzzaman, M. A. Sobhan, T. U. Ahmed

Judul penelitian : *Performance Evaluation of Waste Polyethylene and PVC on Hot Asphalt Mixtures.*

Tahun : 2013

Tujuan penelitian :

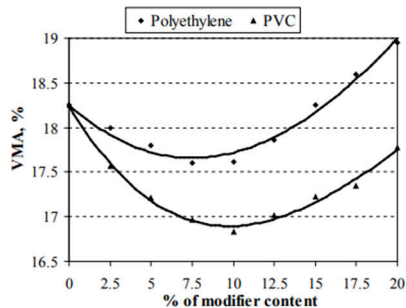
- Meninjau karakteristik campuran aspal dengan LDPE dan PVC.
- Meninjau pengaruh aspal modifikasi pada campuran aspal.

Hasil :

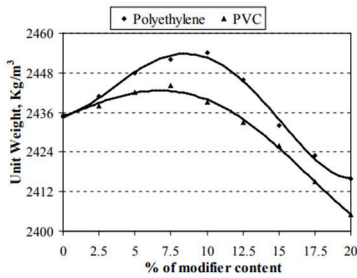
- Nilai penetrasi, daktilitas, titik nyala, titik bakar, kelarutan dan berat jenis mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar polyethylene.
- Nilai titik lembek mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kadar polyethylene.

Tabel 2.II.8. Karakteristik aspal dengan tambahan *polyethylene*.

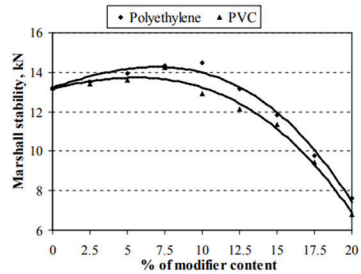
Properties	Percentage of Polyethylene							
	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
Penetration (0.1 mm)	76	71	66	59	53	49	45	39
Ductility (cm)	85	77	67	55	49	41	38	34
Solubility (%)	95.44	89.25	85.2	82.8	79.55	76.98	73.13	69.91
Flash point (°C)	280	265	240	230	210	190	175	165
Fire point (°C)	290	275	250	240	220	200	185	175
Specific gravity	1.0145	1.0085	1.004	0.998	0.995	0.992	0.987	0.985
Softening point (°C)	55	59	61	66	71	78	81	83



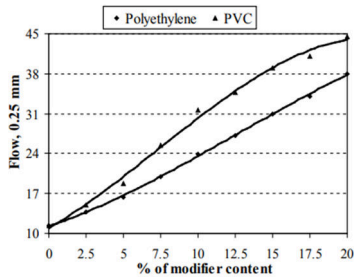
Gambar 2.II.17. Hubungan antara VMA campuran beraspal dengan kadar bahan aditif (Polyethylene dan PVC)



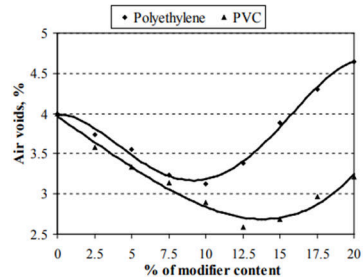
Gambar II.18. Hubungan antara berat jenis campuran beraspal dengan kadar bahan aditif (Polyethylene dan PVC)



Gambar 2.II.19 Hubungan antara Stabilitas *Marshall* campuran beraspal dengan kadar bahan aditif (Polyethylene dan PVC)



Gambar 2.II.20 Hubungan antara flow campuran beraspal dengan kadar bahan aditif (Polyethylene dan PVC)



Gambar 2.II.21 Hubungan antara VIM campuran beraspal dengan kadar bahan aditif (Polyethylene dan PVC)

Tabel 2.II.9. Karakteristik aspal modifikasi dengan penambahan LDPE

Percent LDPE	Penetration at 25°C (dmm, 100 g, 5 s)	Ductility at 25°C (cm)	Softening point (°C)
0	51	150*	52.5
2	40.8	148.5	57
4	35.5	141.8	61.5
6	28	137	66
8	23.5	91.0	68.5

6.

Peneliti : A. I. Al-Hadidy and Yi-qiu Tan
 Judul penelitian : *Evaluation of Pyrolysis LDPE Modified Asphalt Paving Materials.*

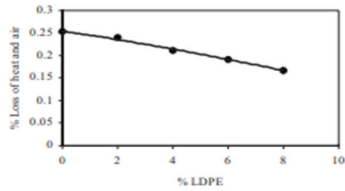
Tahun : 2009

Tujuan penelitian :

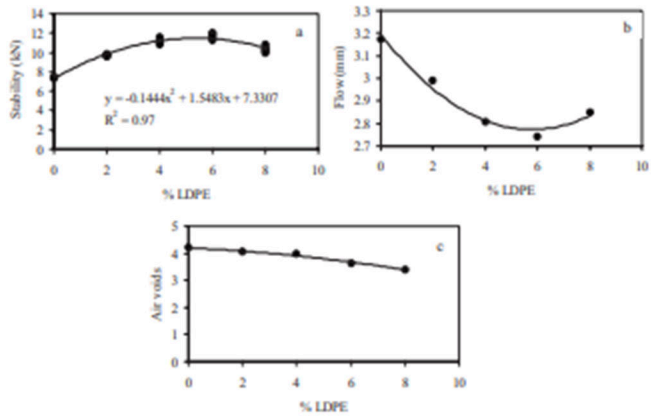
- Menyelidiki potensi penggunaan pirolisis polietilen LDPE sebagai bahan substitusi dalam campuran beraspal panas.

Hasil :

- Hasil pengujian karakteristik aspal modifikasi dengan penambahan LDPE menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai penetrasi dan daktilitas serta terjadi peningkatan nilai titik lembek.
- Parameter *marshall* dari aspal modifikasi menunjukkan terjadi peningkatan nilai stabilitas seiring dengan bertambahnya kadar LDPE kemudian akan mencapai titik balik maksimum lalu turun lagi. Nilai VIM (*Air Void*) terjadi penurunan seiring dengan penambahan kadar LDPE. Nilai Flow terjadi penurunan seiring dengan penambahan kadar aspal kemudian mencapai titik balik minimum lalu naik lagi.



Gambar 2.II.22. Hubungan antara kehilangan berat dengan kadar penambahan LDPE



Gambar 2.II.23. Parameter *marshall* dari LDPEMSMA (*Low Density PolyEthylene Modified Stone Matrix Asphalt*)

Tabel 2.II.10. Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

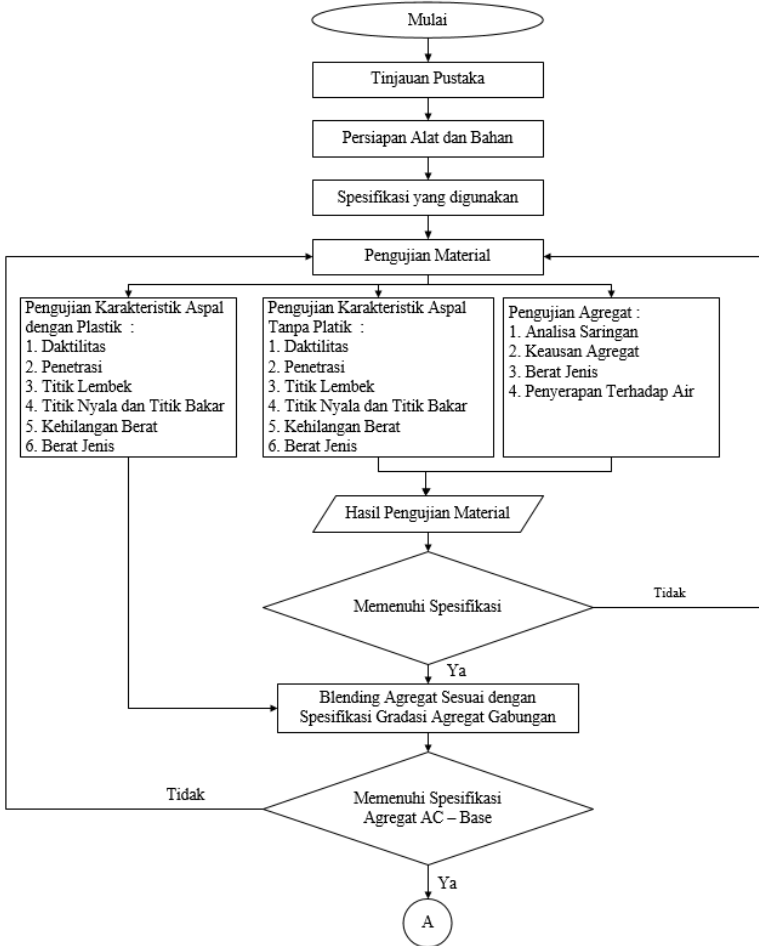
No	Penelitian dan tahun	Judul Penelitian	Informasi Penelitian	Perbandingan dengan Penelitian Penulis
1	(Suroso, 2008)	Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density Poly Ethilene) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal	- Metode pencampuran : Kering dan basah - Variasi kadar plastik : 3%; 3,5%; 4% - Jenis material substitusi aspal : LDPE - Jenis Perkerasan : Laston Lapis Permukaan	- Metode pencampuran : Basah - Variasi kadar plastik : 0%; 2%; 4%; 6%; 8%;10% - Jenis material substitusi aspal : LDPE - Jenis Perkerasan : Laston Lapis Pondasi
2	(Pratomo et al, 2016)	Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik <i>Low Liniear Density PolyEthylene</i> (LLDPE) Ditinjau dari Karakteristik Marshall dan Uji Penetrasi pada Lapisan Aspal Beton (AC-BC)	- Metode pencampuran : Tidak dijelaskan - Variasi kadar plastik : 1%; 3%; 5%; 7%; 9% - Jenis material substitusi aspal : LLDPE - Jenis Perkerasan : AC - BC	- Metode pencampuran : Basah - Variasi kadar plastik : 0%; 2%; 4%; 6%; 8%;10% - Jenis material substitusi aspal : LDPE - Jenis Perkerasan : Laston Lapis Pondasi
3	(Firdausi, 2019)	Pemanfaatan Limbah Plastik <i>Low Density PolyEthilen</i> (LDPE) Pada Campuran <i>Asphalt Concrete</i> – <i>Binder Course</i> (AC-BC) Sebagai Inovasi <i>Green Environment Material</i>	- Metode pencampuran : Kering - Variasi kadar plastik : 0%; 2%; 4%; 6% - Jenis material substitusi aspal : LDPE - Jenis Perkerasan : AC - BC	- Metode pencampuran : Basah - Variasi kadar plastik : 0%; 2%; 4%; 6%; 8%;10% - Jenis material substitusi aspal : LDPE - Jenis Perkerasan : Laston Lapis Pondasi

Tabel 2.II.11. Lanjutan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

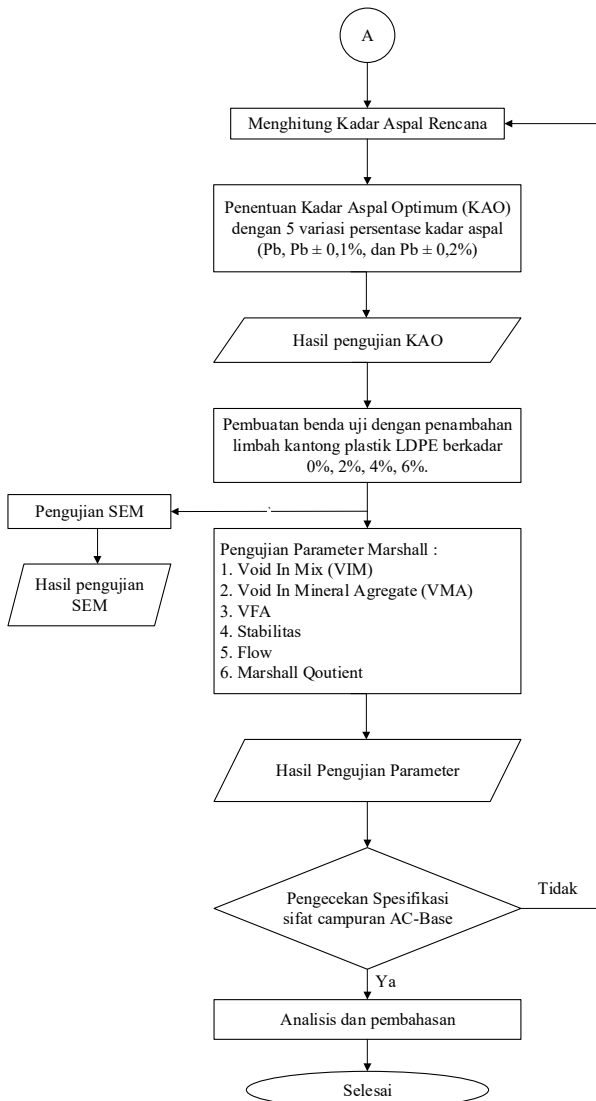
No	Penelitian dan tahun	Judul Penelitian	Informasi Penelitian	Perbandingan dengan Penelitian Penulis
4	(Sadeque et al, 2013)	<i>Rheological Properties Of Recycled Low Density Polyethylene And Polypropylene Modified Bitumen</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Metode pencampuran : Basah - Variasi kadar plastik : 0%; 2%; 4%; 6%; 8%;10% - Jenis material substitusi aspal : LDPE dan PP - Jenis Perkerasan : Tidak ada jenis perkerasan 	<ul style="list-style-type: none"> - Metode pencampuran : Basah - Variasi kadar plastik : 0%; 2%; 4%; 6%; 8%;10% - Jenis material substitusi aspal : LDPE - Jenis Perkerasan : Laston Lapis Pondasi
5	(Rahman et al, 2013)	<i>Performance Evaluation of Waste Polyethylene and PVC on Hot Asphalt Mixtures</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Metode pencampuran : Basah - Variasi kadar plastik : 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; 12,5%; 15%; 17,5%; 20%. - Jenis material substitusi aspal : <i>Polyehtylene</i> dan - Jenis Perkerasan : Campuran Beraspal Panas 	<ul style="list-style-type: none"> - Metode pencampuran : Basah - Variasi kadar plastik : 0%; 2%; 4%; 6%; 8%;10% - Jenis material substitusi aspal : LDPE - Jenis Perkerasan : Laston Lapis Pondasi
6	(Hadidy et al, 2009)	<i>Evaluation of Pyrolysis LDPE Modified Asphalt Paving Materials.</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Metode pencampuran : Basah - Variasi kadar plastik : 0%; 2%; 4%; 6%; 8% - Jenis material substitusi aspal : LDPE - Jenis Perkerasan : Tidak ada jenis perkerasan 	<ul style="list-style-type: none"> - Metode pencampuran : Basah - Variasi kadar plastik : 0%; 2%; 4%; 6%; 8%;10% - Jenis material substitusi aspal : LDPE - Jenis Perkerasan : Laston Lapis Pondasi

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alur Penelitian



Gambar III.1. Diagram Alur Penelitian.



Gambar III.2. Lanjutan Diagram Alur Penelitian.

3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Geoteknik, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

3.3. Persiapan Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini dibutuhkan persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian. Alat dan bahan yang dibutuhkan adalah :

3.3.1. Peralatan

1. Alat Pengujian Karakteristik Aspal

Dalam pengujian aspal, dibutuhkan alat uji yang meliputi:

- Alat Uji Penetrasi.
Alat yang digunakan dalam uji penetrasi meliputi cawan, termometer, penetrometer, dan jarum penetrasi.
- Alat Uji Titik Lembek.
Alat yang digunakan dalam uji titik lembek meliputi termometer, cincin kuningan, bola baja (diameter 9,35 mm; berat 3,45 sampai 3,55 gram), alat pengarah bola, bejana gelas, dudukan benda uji, dan penjepit.
- Alat Uji Titik Nyala dan Titik Bakar.
Alat yang digunakan dalam uji titik nyala dan titik bakar meliputi kompor listrik, cleveland open cup, termometer, penjepit termometer, nyala penguji, dan stopwatch.
- Alat Uji Kehilangan Berat
Alat yang digunakan dalam uji kehilangan berat meliputi termometer, oven, cawan, serta neraca analitik.
- Alat Uji Daktilitas
Alat yang digunakan dalam uji daktilitas meliputi cetakan kuningan, bak perendam, termometer, mesin uji yang dapat menjaga sampel tetap terendam, dan alat pemanas.
- Alat Uji Berat Jenis
Alat yang digunakan dalam uji berat jenis meliputi piknometer, oven, timbangan elektrik, dan corong kaca.

2. Alat Uji Agregat

Dalam pengujian aspal, dibutuhkan alat uji yang meliputi:

- Alat Uji Analisis Saringan
Alat yang digunakan dalam uji analisis saringan meliputi satu set saringan (ukuran $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{8}$ " , no. 4, no. 8, no. 30, no. 50, no. 100, no. 200), neraca analitik, oven yang dilengkapi pengatur suhu, loyang, mesin penggoyang saringan, dan sendok.
- Alat Uji Berat Jenis
Alat yang digunakan dalam uji berat jenis agregat meliputi timbangan kapasitas 5 kg, penggantung keranjang, keranjang kawat, bak perendam, oven, alat pemisah, saringan no. 4, dan pan.
- Alat Uji Keausan (Menggunakan Mesin Los Angeles).
Alat yang digunakan dalam uji keausan meliputi mesin abrasi Los Angeles, bola-bola baja (diameter rata – rata 4,68 cm dan berat masing – masing antara 400 sampai 440 gram), saringan no. 12, neraca, dan oven.
- Alat Uji Kelekatan Terhadap Aspal
Alat yang digunakan dalam uji kelekatan terhadap aspal meliputi wadah untuk mengaduk, timbangan, spatula, tabung gelas kimia, oven, saringan $\frac{1}{4}$ " dan $\frac{3}{8}$ " , dan termometer logam.
- Alat Uji Penyerapan Terhadap Air
Alat yang digunakan dalam uji penyerapan terhadap air meliputi timbangan kapasitas 5 kg, penggantung keranjang, keranjang kawat, bak perendam, oven, alat pemisah, saringan no. 4, dan pan.

3. Alat Uji Parameter *Marshall*

Dalam pengujian *Marshall*, dibutuhkan alat uji yang meliputi :

- Alat tekan *Marshall* yaitu kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji kapasitas (5000 lbs) yang telah dilengkapi arloji pengukur flow meter.

- Alat cetak benda uji bentuk silinder, dengan dimensi diameter 4 inch dan tinggi 3 inch.
- *Marshall* automatic compactor, untuk pemadatan campuran.
- Ejektor, untuk mengeluarkan benda uji setelah pemadatan.
- Bak perendam.
- Alat penunjang meliputi wajan penggorengan, kompor pemanas, termometer, sendok/pengaduk, sarung tangan, kain lap, timbangan, ember, jangka sorong atau penggaris, spidol untuk menandai benda uji.

3.3.2. Bahan

1. Aspal

Pada penelitian ini digunakan aspal dengan penetrasi 60/70. Aspal ini kemudian akan di uji sebelum nantinya akan dijadikan campuran pembuatan benda uji sesuai dengan spesifikasi AC – Base

2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan merupakan agregat yang digunakan untuk spesifikasi AC - Base yang terdapat pada BAB Agregat kasar digunakan dalam pengujian material serta pembuatan benda uji.

3. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan merupakan agregat yang digunakan untuk spesifikasi AC - Base yang terdapat pada BAB Agregat halus digunakan dalam pengujian material serta campuran pembuatan benda uji.

4. Limbah kantong plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*)

Limbah kantong plastik yang digunakan merupakan limbah kantong plastik kresek.

3.3.3. Persiapan plastik LDPE

Plastik yang digunakan berasal dari kantong plastik. Adapun langkah-langkah pengolahan plastik tersebut sebelum di masukkan dalam campuran aspal sebagai berikut :

- 1 Plastik di siapkan.
- 2 Bersihkan plastik dari kotoran atau zat-zat yang menempel pada plastik, pastikan plastik dalam keadaan bersih.
- 3 Potong plastik kecil-kecil.

3.4. Pengujian Bahan.

A. Aspal pen. 60/70

Dilakukan Uji Penetrasi, Titik lembek, Daktilitas, Berat Jenis, serta Kehilangan Berat sesuai peraturan yang telah ada yaitu Standar Nasional Indonesia dan Bina Marga.

B. Agregat

Agregat sangat diperlukan sebagai bahan pengisi, meliputi Agregat Halus dan Agregat Kasar. Untuk Memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan maka perlu dilakukan pengujian Analisis Saringan, Berat Jenis, dan Penyerapan.

3.5. Pemeriksaan Material.

3.5.1. Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan merupakan aspal penetrasi 60/70. Aspal ini kemudian di uji agar dapat diketahui memenuhi spesifikasi atau tidak. Jenis pengujian aspal dan tata caranya meliputi :

- Uji penetrasi menggunakan peraturan SNI 2456-2011
- Uji titik lembek menggunakan peraturan SNI 2434-2011
- Uji titik nyala dan titik bakar menggunakan peraturan SNI 2433-2011
- Uji kehilangan berat menggunakan peraturan SNI 06-2441-1991
- Uji daktilitas menggunakan peraturan SNI 2432-2011
- Uji berat jenis menggunakan peraturan SNI 2441-2011

3.5.2. Pemeriksaan Agregat

Agregat yang digunakan adalah agregat kasar dan agregat halus. Agregat ini kemudian di uji agar dapat diketahui memenuhi spesifikasi atau tidak. Jenis pengujian agregat dan tata caranya meliputi :

- Uji analisis saringan menggunakan spesifikasi gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal pada tabel 2.1
- Uji berat jenis agregat kasar menggunakan peraturan SNI 1969-2008 dan agregat halus menggunakan peraturan SNI 1970-2008
- Uji keausan agregat menggunakan peraturan SNI 2417-2008
- Uji kelekatan terhadap aspal menggunakan peraturan SNI 03-2439-1991
- Uji penyerapan terhadap air menggunakan peraturan SNI 1969-2008.

3.6. Metode Pencampuran Plastik

Dalam pencampuran plastik untuk menaikkan kinerja campuran beraspal terdapat dua acara, yaitu cara basah (*wet process*) dan cara kering (*dry process*).

3.6.1. Metode Kering (dry process)

Metode kering adalah cara pencampuran plastik dimana plastik dimasukkan kedalam yang dipanaskan pada temperature campuran, kemudian aspal panas dicampurkan (Suroso, 2008).

3.6.2. Metode Basah (wet process)

Metode basah adalah cara pencampuran plastik dimana plastik dimasukkan kedalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen (Suroso, 2008).

3.7. Pembuatan Benda Uji

- Menimbang agregat sesuai dengan berat persentase agregat campuran yang telah dihitung, kemudian benda uji dibuat sebanyak yang dibutuhkan dengan masing-masing variasi kadar aspal.

- Memanaskan aspal untuk pencampuran menggunakan kompos pemanas, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap terjaga (konstan) maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata. Suhu pencampuran agregat dengan aspal pada suhu 155 oC dan pemadatan suhunya berkisar antara 145 oC.
- Kemudian melakukan pemadatan standar dengan alat *Marshall* Automatic Compactor dengan jumlah tumbukan 112 kali.
- Benda uji didiamkan supaya suhunya turun, setelah itu benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode dengan menggunakan tipe-ex atau penanda lain.
- Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering.
- Benda uji direndam dalam air selama 16 – 24 jam supaya jenuh.
- Ditimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air.
- Kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain lap sampai permukaan kering dan didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (*saturated surface dry, SSD*) kemudian ditimbang.

3.8. Perhitungan Jumlah Sampel Penelitian

- Benda uji tanpa penambahan limbah plastik LDPE :

1. Pb = 3 sampel
2. Pb + 0,5% = 3 sampel
3. Pb – 0,5% = 3 sampel
4. Pb + 1% = 3 sampel
5. Pb – 1% = 3 sampel

Terdapat 15 benda uji untuk campuran aspal tanpa penambahan limbah plastik LDPE.

- Benda uji dengan penambahan limbah plastik LDPE variasi kadar 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10% :
 1. KAO dengan LDPE kadar 0% = 3 sampel
 2. Penambahan LDPE kadar 2% = 3 sampel
 3. Penambahan LDPE kadar 4% = 3 sampel
 4. Penambahan LDPE kadar 6% = 3 sampel
 5. Penambahan LDPE kadar 8% = 3 sampel
 6. Penambahan LDPE kadar 10% = 3 sampel
- Terdapat 18 benda uji untuk campuran aspal dengan penambahan limbah plastik LDPE.
- Total benda uji yang dibuat adalah 33 benda uji.

3.9. Pengujian *Marshall*

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (flow) dari campuran aspal sesuai dengan SNI 06-2489-1991. Berikut langkah-langkah pengujian dengan alat *Marshall* :

- Input data-data seperti berat jenis aspal, berat jenis agregat, berat jenis campuran(density), berat kering campuran, tebal benda uji dan lebar benda uji
- Keluarkan benda uji dari dalam waterbath dan letakkan benda uji kedalam segmen bawah kepala penekan
- Pasang segmen atas di atas benda uji dan letakkan keseluruhannya kedalam mesin penguji *marshall*
- Tekan up dan dilanjut tombol start untuk memulai proses pengujian
- Tunggu hingga alat tersebut menyelesaikan proses penekanan terhadap benda uji
- Jika grafik sudah mulai menurun dan alarm alat sudah berbunyi maka tekan tombol stop
- Hasil pengujian *marshall* lalu di export kedalam excel
- Tekan tombol down untuk mengeluarkan benda uji

3.10. Analisis dan Pembahasan

Hasil pengolahan akan diuraikan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar aspal dan parameter *Marshall*, yaitu gambar grafik hubungan antara:

- Kerapatan campuran (density)
- Prosentase rongga dalam campuran (VIM)
- Prosentase rongga dalam campuran yang terisi aspal (VFA)
- Prosentase rongga di antara mineral agregat (VMA)
- Stabilitas
- Kelelehan (flow)
- Hasil bagi *Marshall* (*Marshall Quotient*)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Material

Pengujian dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Geoteknik Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ITS. Pengujian mengacu pada Spesifikasi Umum 2018.

4.1.1. Pengujian Karakteristik Aspal Konvensional

Jenis aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70. Berikut adalah hasil pengujian karakteristik aspal :

Tabel IV.1. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Syarat berdasarkan Spesifikasi umum 2018		Hasil pengujian
			Min	Max	
1	Penetrasi (0,1 mm)	SNI 2456 - 2011	60	70	61,44 cm
2	Titik Lembek (°C)	SNI 2434 - 2011	48	-	55,75 °C
3	Titik Nyala (°C)	SNI 2433 - 2011	200	-	215 °C
4	Daktilitas (cm)	SNI 2432 - 2011	100	-	161 cm
5	Kehilangan Berat (%)	SNI 06 - 2440 - 1991	-	0,8	0,067%
6	Berat Jenis (gr/cm ³)	SNI 2441 - 2011	1,0	-	1,01 gr/cc

4.1.2. Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi

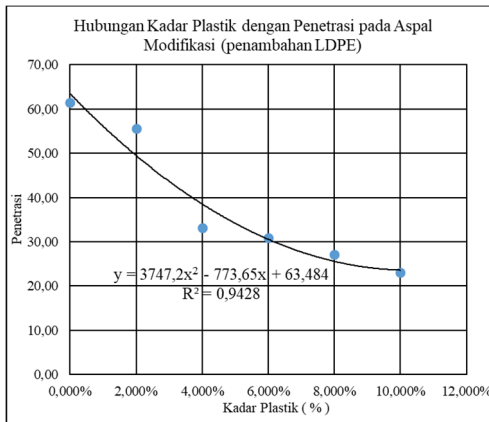
Pengujian karakteristik aspal modifikasi dilakukan dengan penambahan plastik jenis LDPE berkadar mulai dari 2%, 4%, 6%, 8%, 10%. Berikut adalah hasil dari pengujian yang telah dilakukan :

4.1.2.1. Uji Penetrasi

Berikut adalah hasil dari pengujian penetrasi yang telah dilakukan :

Tabel IV.2. Hasil Uji Penetrasi Aspal dengan penambahan LDPE

No	Kadar Plastik	Penetrasi
1	%	61,44
2	2 %	55,56
3	4 %	33,13
4	6 %	30,94
5	8 %	27,06
6	10 %	23,13



Gambar IV.1. Hubungan Antara kadar plastik dengan penetrasi pada Aspal Modifikasi (penambahan LDPE)

Berdasarkan grafik di atas, nilai penetrasi yang cenderung menurun seiring dengan penambahan kadar plastik. Hal ini mengindikasikan bahwa aspal semakin keras atau getas. Penetrasi tertinggi adalah 61,44 pada kadar plastik 0%, sedangkan penetrasi terendah adalah 23,13 pada kadar plastik 10%. Hanya campuran dengan kadar plastik 0% yang memenuhi spesifikasi umum 2018 untuk aspal penetrasi 60/70.

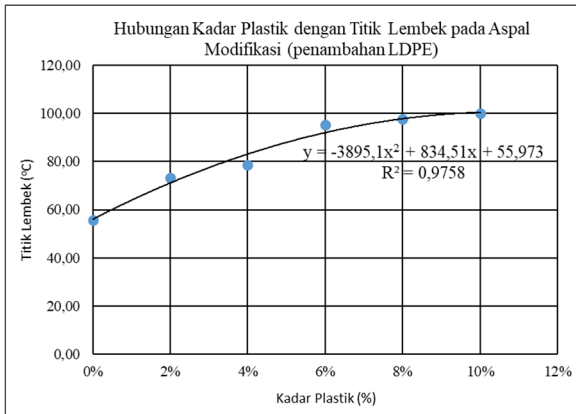
Semakin tinggi nilai penetrasi mengindikasikan bahwa aspal semakin keras atau getas, begitu juga sebaliknya.

4.1.2.2. Uji Titik Lembek

Pengujian titik lembek bertujuan untuk menguji kepekaan aspal terhadap perubahan di lapangan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 4 benda uji (2 kali pengujian tiap variasi kadar plastik). Berikut adalah hasil dari pengujian titik lembek aspal :

Tabel IV.3. Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Modifikasi

No	Kadar Plastik	Titik Lembek
1	%	55,75 °C
2	2 %	73,25 °C
3	4 %	78,50 °C
4	6 %	95,25 °C
5	8 %	97,75 °C
6	10 %	100,00 °C



Gambar IV.2. Hubungan Kadar Plastik dengan Titik Lembek pada Aspal Modifikasi

Berdasarkan grafik di atas, nilai titik leleh cenderung meningkat seiring dengan penambahan kadar plastik. Hal ini dikarenakan nilai titik leleh pada LDPE lebih tinggi dari aspal, yaitu 150 °C (Billmeyer Jr, 1984). ketika aspal telah mencapai titik leleh, plastik masih belum meleleh dan masih menahan berbentuk padatan, sehingga bola baja tertahan di cincin kuning. Nilai titik leleh tertinggi adalah 100 °C pada kadar plastik 10%, sedangkan titik leleh terendah adalah 55,75 °C pada kadar plastic 0%. Semua variasi kadar plastik pada aspal memiliki nilai titik leleh yang memenuhi spesifikasi umum 2018.

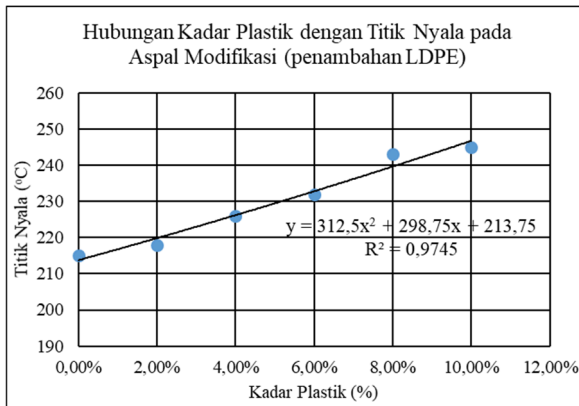
4.1.2.3. Uji Titik Nyala

Pengujian titik nyala bertujuan untuk mengukur kecenderungan aspal pada suhu berapa dapat terbakar akibat panas. Hasil pengujian ini dapat digunakan sebagai informasi bahaya dalam pencegahan kebakaran di lapangan. Pengujian ini menggunakan 1 benda uji untuk setiap variasi kadar plastik,

sehingga menggunakan total benda uji sebanyak 6 buah. Berikut adalah hasil pengujian titik nyala yang telah dilakukan :

Tabel IV.4. Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Modifikasi

No	kadar plastik	Titik Nyala
1	0 %	215 °C
2	2 %	218 °C
3	4 %	226 °C
4	6 %	232 °C
5	8 %	243 °C
6	10 %	245 °C



Gambar IV.3. Hubungan Kadar Plastik dengan Titik Nyala pada Aspal Modifikasi.

Grafik di atas memiliki kecenderungan yang sama dengan grafik titik lembek, yaitu nilai titik nyala semakin tinggi seiring dengan penambahan kadar plastik. Hal ini terjadi karena titik nyala plastik lebih tinggi dari titik nyala aspal, yaitu 341 °C (“ICSC 1488 - POLYETHYLENE,” 2004), sehingga titik nyala

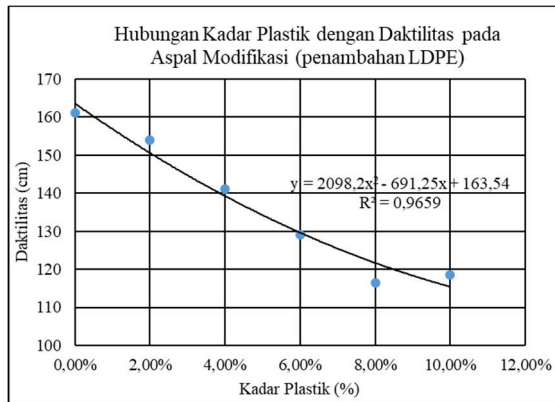
campuran aspal dengan LDPE lebih tinggi dari pada titik nyala aspal konvensional. Nilai titik nyala tertinggi adalah 245 °C pada kadar plastik 10%, sedangkan nilai titik nyala terendah adalah 215 °C pada kadar plastik 0%. Nilai minimum titik nyala aspal adalah 200 °C, sehingga nilai titik nyala semua variasi kadar plastik pada aspal modifikasi memenuhi spesifikasi umum 2018.

4.1.2.4. Uji Daktilitas

Pengujian daktilitas bertujuan untuk mengetahui nilai pemuluran aspal. Semakin tinggi nilai daktilitas sebuah aspal, maka semakin getas juga aspal tersebut dan juga berlaku sebaliknya. Pengujian ini menggunakan 2 benda uji setiap variasi kadar plastik, sehingga total benda uji adalah 12 untuk pengujian ini. Berikut adalah hasil pengujian daktilitas yang telah dilakukan :

Tabel IV.5. Hasil pengujian Daktilitas Aspal Modifikasi

No	kadar plastik	Daktilitas
1	0 %	161 cm
2	2 %	154 cm
3	4 %	141 cm
4	6 %	129 cm
5	8 %	117 cm
6	10 %	119 cm



Gambar IV.4. Hubungan Kadar Plastik dengan Daktilitas pada Aspal Modifikasi

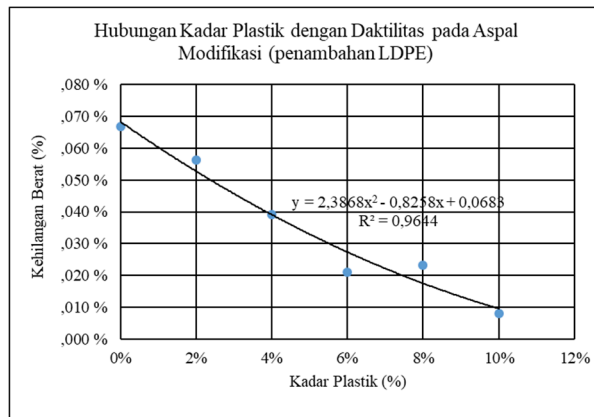
Berdasarkan data grafik dan tabel di atas, nilai daktilitas semakin rendah seiring dengan penambahan kadar plastik. Hal ini mengindikasikan bahwa aspal modifikasi semakin getas seiring bertambahnya kadar plastik. Nilai tertinggi daktilitas adalah 161 cm pada kadar plastik 0%, sedangkan nilai terendah daktilitas adalah 117 cm pada kadar plastik 8%. Campuran aspal dengan semua variasi kadar plastik memiliki nilai daktilitas yang memenuhi spesifikasi umum 2018.

4.1.2.5. Uji Kehilangan Berat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan minyak pada aspal akibat pemanasan berulang. Pengujian ini menggunakan benda uji sebanyak 2 buah untuk setiap variasi kadar plastik, sehingga total benda uji yang digunakan adalah 12 buah. Berikut adalah hasil pengujian kehilangan berat yang telah dilakukan :

Tabel IV.6. Hasil Uji Kehilangan Berat Aspal Modifikasi

No	Kadar Plastik	Kehilangan Berat
1	0,0%	0,067 %
2	2,0%	0,056 %
3	4,0%	0,039 %
4	6,0%	0,021 %
5	8,0%	0,023 %
6	10,0%	0,008 %



Gambar IV.5. Hubungan Kadar Plastik dengan Kehilangan Berat pada Aspal Modifikasi

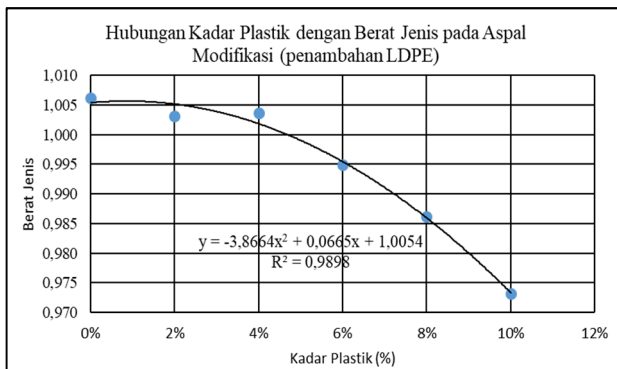
Berdasarkan grafik dan tabel di atas, nilai kehilangan berat semakin rendah seiring dengan penambahan kadar plastik. Nilai kehilangan berat tertinggi adalah 0,067% pada kadar plastik 0%, sedangkan nilai kehilangan berat terendah adalah 0,008% pada kadar plastik 10%. Nilai maximum kehilangan berat berdasarkan spesifikasi umum 2018 adalah 0,8% dari berat awal aspal. Campuran aspal dengan semua variasi kadar plastik memiliki nilai kehilangan berat memenuhi spesifikasi umum 2018.

4.1.2.6. Uji Berat Jenis

Berikut adalah hasil pengujian berat jenis yang telah dilakukan :

Tabel IV.7. Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal Modifikasi

No	Kadar plastik	berat jenis
1	0%	1,006
2	2%	1,003
3	4%	1,004
4	6%	0,995
5	8%	0,986
6	10%	0,973



Gambar IV.6. Hubungan Kadar Plastik dengan Berat Jenis pada Aspal Modifikasi

Berdasarkan grafik dan tabel di atas, nilai berat jenis semakin rendah seiring dengan bertambahnya kadar plastik. Hal ini dikarenakan nilai berat jenis LDPE lebih rendah dari berat jenis aspal, yaitu sekitar 0,94 gr/ cc (Billmeyer Jr, 1984). Nilai

berat jenis tertinggi adalah 1,006 gr/cc pada kadar plastik 0%, sedangkan nilai terendah adalah 0,973 gr/cc pada kadar plastik 10%. Nilai minimum berat jenis aspal berdasarkan spesifikasi umum 2018 adalah 1 gr/cc, sehingga aspal campuran LDPE dengan variasi kadar plastik yang memenuhi adalah 0%, 2%, dan 4%.

4.1.2.7. Rekapitulasi Hasil Pengujian Aspal dengan Tambahan LDPE

Tabel IV.8. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi

No.	Pengujian	Hasil Pengujian						Spesifikasi Umum 2018		
		0%	2%	4%	6%	8%	10%	Min	-	Max
1	Penetrasi	61,44	55,56	33,13	30,94	27,06	23,13	60	-	70
2	Titik Lembek °C	55,75 °C	73,25 oC °C	78,5 °C	95,25 °C	97,75 °C	100 °C	48	-	-
3	Titik Nyala °C	215 °C	218 °C	226 °C	232 °C	243 °C	245 °C	200	-	-
4	Daktalitas cm	161 cm	154 cm	141 cm	129 cm	117 cm	119 cm	100	-	-
5	Kehilangan Berat %	0,067 %	0,056 %	0,039 %	0,021 %	0,023 %	0,008 %	-	-	0,8
6	Berat Jenis gr/cc	1,029 gr/cc	1,0167 gr/cc	1,0217 gr/cc	1,003 gr/cc	0,9938 gr/cc	0,981 gr/cc	1	-	-

Tabel IV.9. Lanjutan Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi

No.	Pengujian	Hasil					
		0%	2%	4%	6%	8%	10%
1	Penetrasi	OK	NOT OK	NOT OK	NOT OK	NOT OK	NOT OK
2	Titik Lembek °C	OK	OK	OK	OK	OK	OK
3	Titik Nyala °C	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4	Daktalitas cm	OK	OK	OK	OK	OK	OK
5	Kehilangan Berat %	OK	OK	OK	OK	OK	OK
6	Berat Jenis gr/cc	OK	OK	OK	OK	NOT OK	NOT OK

4.1.2.8. Perbandingan hasil pengujian karakteristik aspal modifikasi dengan penelitian terdahulu.

Semua pengujian karakteristik aspal modifikasi dengan penambahan LDPE memberikan hasil grafik serta kecenderungan yang sama dengan penelitian – penelitian sebelumnya mengenai karakteristik aspal dengan tambahan LDPE.

1. (Pratomo, Hadi, & Diansari, 2016) Karakteristik aspal modifikasi dengan penambahan plastik jenis LLDPE (Low Linier Density PolyEthylene) ditinjau dari uji penetrasi menghasilkan nilai penetrasi yang cenderung semakin rendah seiring dengan penambahan kadar plastik. Hasil tersebut memiliki kesamaan dengan hasil penelitian yang penulis lakukan. Berikut adalah perbandingan dengan hasil penelitian penulis :

Tabel IV.10. Hasil penelitian terdahulu

Persen penambahan	1 %	3 %	5 %	7 %	9 %
penetrasi	61	55,4	47,5	45,5	43,5

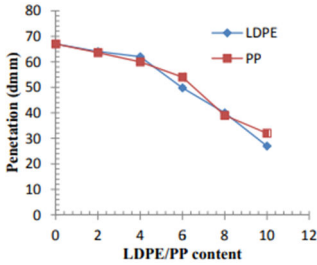
(Pratomo et al., 2016)

Tabel IV.11. Hasil penelitian penulis

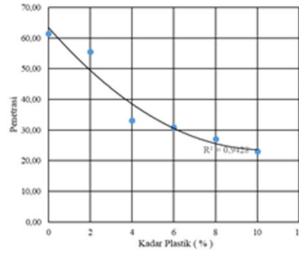
Persen Penambahan	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Penetrasi	61,44	55,56	33,13	30,94	27,06	23,13

2. (Sadeque & Patil, 2013) Karakteristik aspal modifikasi dengan penambahan limbah daur ulang LDPE ditinjau dari uji penetrasi, daktilitas, dan titik lembek. Hasil untuk uji penetrasi dan daktilitas menghasilkan grafik yang cenderung menurun seiring dengan penambahan kadar plastik. Sedangkan untuk uji titik lembek menghasilkan

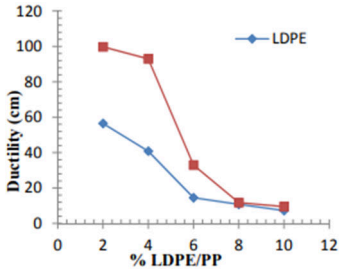
grafik yang cenderung meningkat seiring dengan penambahan kadar plastik. Hasil penelitian penulis sesuai dengan penelitian ini, yaitu untuk grafik uji daktilitas dan penetrasi cenderung menurun, sedangkan grafik uji titik lembek cenderung menaik. Berikut adalah perbandingan dengan hasil penelitian penulis :



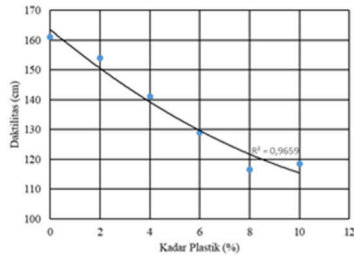
Gambar IV.7. Hasil penelitian terdahulu untuk uji penetrasi



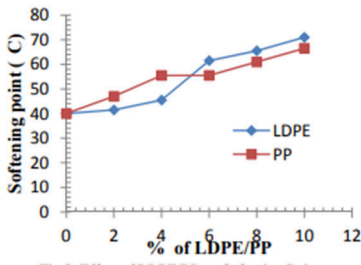
Gambar IV.8. Hasil Penelitian penulis untuk uji penetrasi



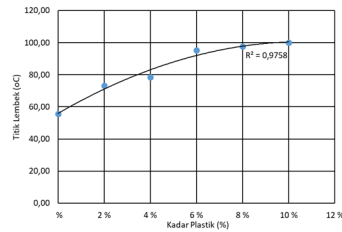
Gambar IV.9. Hasil Penelitian Terdahulu untuk Uji Daktilitas



Gambar IV.10. Hasil Penelitian Penulis untuk Uji Daktilitas



Gambar IV.11. Hasil Penelitian Terdahulu untuk Uji Titik Lembek



Gambar IV.12. Hasil Penelitian Penulis untuk Uji Titik Lembek

- (Nobinur Rahman, Ahmeduzzaman, A. Sobhan, & U. Ahmed, 2013) Karakteristik aspal modifikasi dengan penambahan LDPE ditinjau dari uji penetrasi, daktilitas, kelarutan, titik nyala, titik bakar, *Specific Gravity*, titik leleh. Hasil pengujian penulis menghasilkan grafik sesuai dengan penelitian yang dilakukan Rahman, kecuali hasil pengujian titik nyala yang kecenderungannya berbeda. Hasil pengujian titik nyala pada penelitian yang dilakukan Rahman memiliki kecenderungan nilai yang semakin rendah seiring dengan penambahan kadar plastik. Sedangkan hasil pengujian penulis didapatkan nilai titik nyala semakin naik seiring dengan penambahan kadar plastik. Peningkatan nilai titik nyala ini terjadi karena titik nyala PolyEthylene lebih tinggi dari titik nyala aspal murni. Berikut adalah perbandingan dengan hasil penelitian penulis :

Tabel IV.12. Hasil Pengujian Penelitian Terdahulu

Properties	Percentage of Polyethylene							
	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
Penetration (0.1 mm)	76	71	66	59	53	49	45	39
Ductility (cm)	85	77	67	55	49	41	38	34
Solubility (%)	95.44	89.25	85.2	82.8	79.55	76.98	73.13	69.91
Flash point (°C)	280	265	240	230	210	190	175	165
Fire point (°C)	290	275	250	240	220	200	185	175
Specific gravity	1.0145	1.0085	1.004	0.998	0.995	0.992	0.987	0.985
Softening point (°C)	55	59	61	66	71	78	81	83

(Nobinur Rahman et al., 2013)

Tabel IV.13. Hasil Pengujian Penelitian Penulis

Pengujian	Kadar Plastik					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Penetrasi (0,1mm)	61,44	55,56	33,13	30,94	27,06	23,13
Titik Lembek (oC)	55,75	73,25	78,5	95,25	97,75	100
Titik Nyala (°C)	215	218	226	232	243	245
Daktilitas (cm)	161	154	141	129	117	119
Kehilangan Berat	0,067	0,056	0,039	0,021	0,023	0,008
Berat Jenis	1,029	1,0167	1,0217	1,003	0,9938	0,981

4.1.3. Pengujian Agregat

Penelitian ini menggunakan 4 jenis ukuran agregat, yaitu agregat ukuran 10 – 20, 10 - 10, 5 – 10, dan 0 – 5. Berikut adalah hasil pengujian agregat :

4.1.3.1. Analisis Saringan Agregat

Tabel IV.14. Berat Kering Tertahan Agregat 0 - 5

AGREGAT 0 - 5	Berat awal = 3000 gram			
No. Saringan	BERAT KERING TERTAHAN (gr)			
	PERCOBAAN 1	PERCOBAAN 2	PERCOBAAN 3	Rata - rata
1 1/2"	-	-	-	100
1"	-	-	-	100,00
3/4"	-	-	-	100,00
1/2"	-	-	-	100,00
3/8"	-	-	-	100,00
No. 4	-	-	-	100,00
No. 8	400	370	380	383
No. 16	906	878	932	905
No. 30	580	586	580	582
No. 50	490	516	490	499
No. 100	246	270	252	256
No. 200	99	99	91	96
PAN	275	273	268	272
JUMLAH	2996	2992	2993	2994

Tabel IV.15. Hasil Analisis Saringan Agregat 0 - 5

AGREGAT 0 - 5				
Berat awal = 3000 gram				
No. Saringan	rata - rata tertahan (gr)	berat kumulatif (gr)	persentase tertahan (%)	persentase lolos (%)
1 1/2"	-	-	-	100
1"	-	-	-	100,00
3/4"	-	-	-	100,00
1/2"	-	-	-	100,00
3/8"	-	-	-	100,00
No. 4	-	-	-	100,00
No. 8	383	383,33	12,78	87,22
No. 16	905	1288,67	42,96	57,04
No. 30	582	1870,67	62,36	37,64
No. 50	499	2369,33	78,98	21,02
No. 100	256	2625,33	87,51	12,49
No. 200	96	2721,57	90,72	9,28
PAN	272	2993,93	99,80	0,20
JUMLAH	2994			

Tabel IV.16. Hasil Analisis Saringan Agregat 10 - 20.

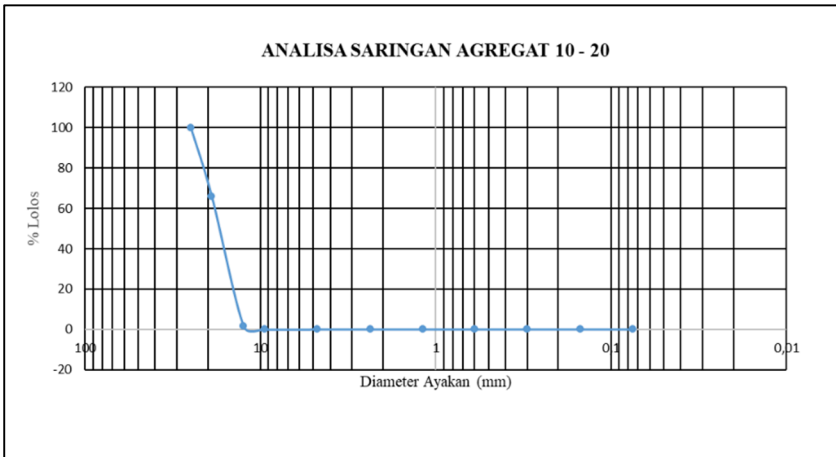
AGREGAT 10 - 20							
No Saringan	Berat Kering Tertahan				Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan	Persentase Lolos
	Percobaan 1 (gr)	Percobaan 2 (gr)	Percobaan 3 (gr)	rata - rata (gr)			
berat awal	3002	3002	3002	3002			
1"	0	0	0	0	0	0	100
3/4"	1114	1006	946	1022	1022,00	34,04	65,96
1/2"	1858	1926	2008	1930,67	2952,67	98,36	1,64
3/8"	28	72	44	48	3000,67	99,96	0,04
No. 4	-	-	-	-	-	-	-
No. 8	-	-	-	-	-	-	-
No. 16	-	-	-	-	-	-	-
No. 30	-	-	-	-	-	-	-
No. 50	-	-	-	-	-	-	-
No. 100	-	-	-	-	-	-	-
No. 200	-	-	-	-	-	-	-
PAN	-	-	-	-	-	-	-
JUMLAH	3000	3004	2998	3000,67	-	-	-

Tabel IV.17. Hasil Analisis Saringan Agregat 10 – 10.

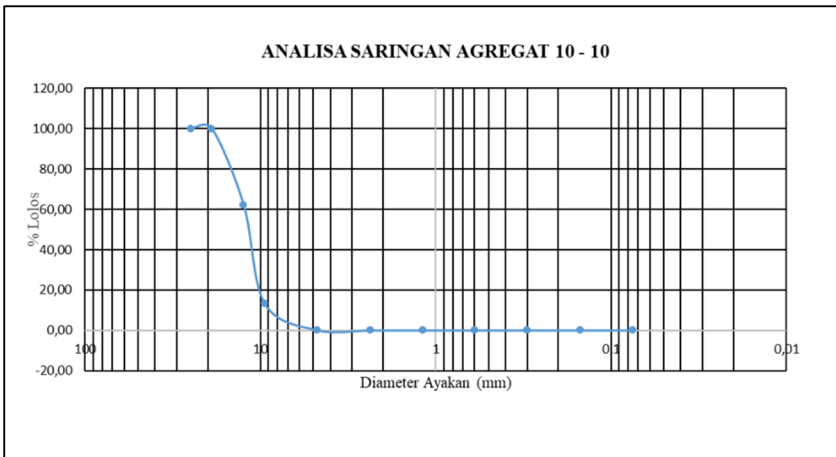
AGREGAT 10 - 10							
No Saringan	Berat Kering Tertahan				Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan	Persentase Lolos
	Percobaan 1 (gr)	Percobaan 2 (gr)	Percobaan 3 (gr)	rata - rata (gr)			
berat awal	3000	3002	3000	3001			
1"	0	0	0	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	0	0	0	0	0,00	0,00	100,00
1/2"	1258	1166	988	1137,33	1137,33	37,89	62,11
3/8"	1436	1433	1520	1463,00	2600,33	86,62	13,38
No. 4	306	400	490	398,67	2999,00	99,90	0,10
No. 8	-	-	-	-	-	-	-
No. 16	-	-	-	-	-	-	-
No. 30	-	-	-	-	-	-	-
No. 50	-	-	-	-	-	-	-
No. 100	-	-	-	-	-	-	-
No. 200	-	-	-	-	-	-	-
PAN	-	-	-	-	-	-	-
JUMLAH	3000	2999	2998	2999	-	-	-

Tabel IV.18. Hasil Analisis Saringan Agregat 5 - 10.

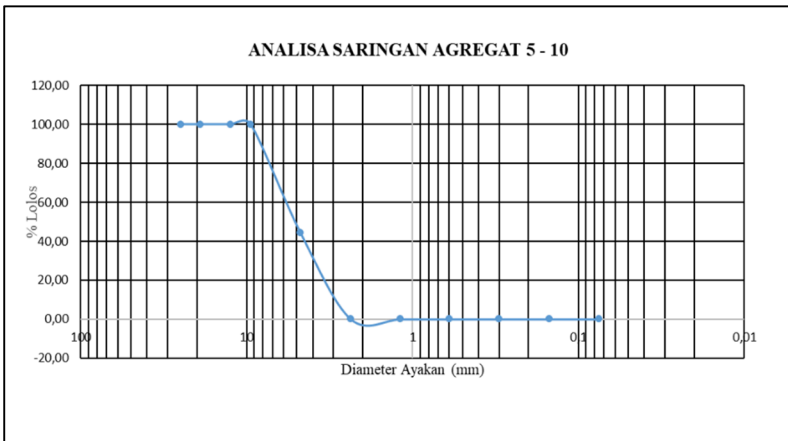
AGREGAT 5 - 10							
No Saringan	Berat Kering Tertahan				Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan	Persentase Lolos
	Percobaan 1 (gr)	Percobaan 2 (gr)	Percobaan 3 (gr)	rata - rata (gr)			
berat awal	3000	3000	3000	3000			
1"	-	-	-	-	-	0,00	100,00
3/4"	-	-	-	-	-	0,00	100,00
1/2"	-	-	-	-	-	0,00	100,00
3/8"	-	-	-	-	-	0,00	100,00
No. 4	1622	1606	1780	1669,33	1669,33	55,61	44,39
No. 8	1378,00	1394,00	1220,00	1330,67	3000,00	99,93	0,07
No. 16	-	-	-	-	-	-	-
No. 30	-	-	-	-	-	-	-
No. 50	-	-	-	-	-	-	-
No. 100	-	-	-	-	-	-	-
No. 200	-	-	-	-	-	-	-
PAN	-	-	-	-	-	-	-
JUMLAH	3000	3000	3000	3000	-	-	-



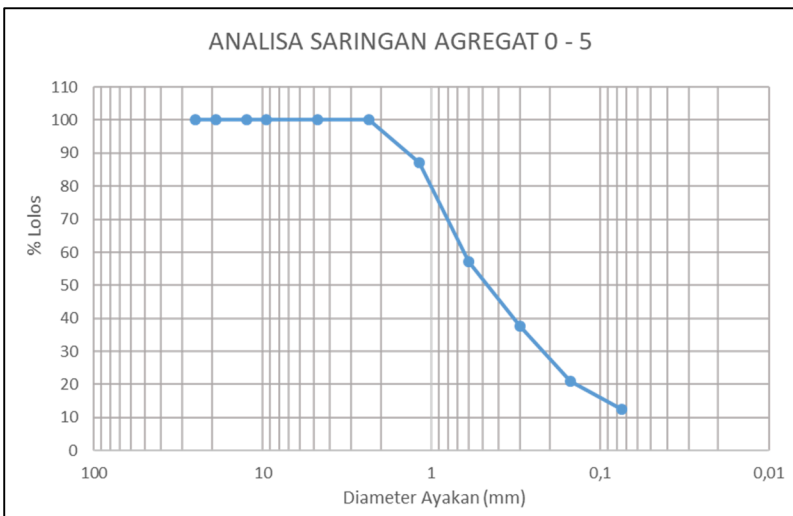
Gambar IV.13. Grafik Analisis Saringan Agregat 10 - 20..



Gambar IV.14. Grafik Analisis Saringan Agregat 10 - 10.



Gambar IV.15. Grafik Analisis Saringan Agregat 5 - 10.



Gambar IV.16. Grafik Analisis Saringan Agregat 0 – 5.

4.1.3.2. Pengujian Fisik Agregat

Tabel IV.19. Hasil Pengujian Fisik Agregat

Agregat kasar 10 - 20					
No	Pengujian	Metode	Batas	Hasil	Ket.
1	Berat Jenis Curah	SNI 1969 : 2016	$\geq 2,5$	2,696	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 1969 : 2016	$\geq 2,5$	2,712	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 1969 : 2016	$\geq 2,5$	2,741	OK
4	Penyerapan Air	SNI 1969 : 2016	$\leq 3\%$	0,600	OK
5	Keausan	SNI 2417 : 2008	$\leq 40\%$	21%	OK
Agregat kasar 10 - 10					
No	Pengujian	Metode	Batas	Hasil	Ket.
1	Berat Jenis Curah	SNI 1969 : 2016	$\geq 2,5$	2,697	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 1969 : 2016	$\geq 2,5$	2,729	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 1969 : 2016	$\geq 2,5$	2,785	OK
4	Penyerapan Air	SNI 1969 : 2016	$\leq 3\%$	1,167	OK
Agregat kasar 5 - 10					
No	Pengujian	Metode	Batas	Hasil	Ket.
1	Berat Jenis Curah	SNI 1969 : 2016	$\geq 2,5$	2,679	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 1969 : 2016	$\geq 2,5$	2,720	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 1969 : 2016	$\geq 2,5$	2,793	OK
4	Penyerapan Air	SNI 1969 : 2016	$\leq 3\%$	1,533	OK
Agregat halus 0 - 5					
No	Pengujian	Metode	Batas	Hasil	Ket.
1	Berat Jenis Curah	SNI 1970 : 2016	$\geq 2,5$	2,588	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 1970 : 2016	$\geq 2,5$	2,665	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 1970 : 2016	$\geq 2,5$	2,804	OK
4	Penyerapan Air	SNI 1970 : 2016	$\leq 3\%$	2,980	OK

Tabel IV.20. Rekapitulasi hasil pengujian fisik agregat

No	Fraksi	% Agregat	Berat Jenis			Persen Penyerapan	BJ Pakai	(2) / (7)
			Bulk	SSD	Semu			
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Agg 10 - 20	26 %	2,696	2,712	2,741	,600 %	2,718	9,56
2	Agg 10 - 10	15 %	2,697	2,729	2,785	1,167 %	2,741	5,47
3	Agg 5 - 10	19 %	2,679	2,720	2,793	1,533 %	2,736	6,94
4	Agg 0 - 5	40 %	2,588	2,665	2,804	2,980 %	2,696	14,84

Menghitung Berat Jenis Padat Agregat Gabungan (BJ. Bulk)

$$\begin{aligned}
 G_{sb} &= \frac{100}{\frac{\%Agg(10-20)}{BJ\ Agg(10-20)} + \frac{\%Agg(10-10)}{BJ\ Agg(10-10)} + \frac{\%Agg(5-10)}{BJ\ Agg(5-10)} + \frac{\%Agg(0-5)}{BJ\ Agg(0-5)} + \frac{\%Agg(filler)}{BJ\ Agg(filler)}} \\
 &= \frac{100}{\frac{26\%}{2,696} + \frac{15\%}{2,697} + \frac{19\%}{2,679} + \frac{40\%}{2,588} + 0} \\
 &= \frac{100}{10\% + 6\% + 7\% + 15\%} \\
 &= 2,65
 \end{aligned}$$

Menghitung Berat Jenis Padat Agregat Gabungan (BJ. Bulk)

$$\begin{aligned}
 G_{sc} &= \frac{100}{\frac{\%Agg(10-20)}{BJ\ Agg(10-20)} + \frac{\%Agg(10-10)}{BJ\ Agg(10-10)} + \frac{\%Agg(5-10)}{BJ\ Agg(5-10)} + \frac{\%Agg(0-5)}{BJ\ Agg(0-5)} + \frac{\%Agg(filler)}{BJ\ Agg(filler)}} \\
 &= \frac{100}{\frac{26\%}{2,718} + \frac{15\%}{2,741} + \frac{19\%}{2,736} + \frac{40\%}{2,696}} \\
 &= \frac{100}{9,6\% + 5\% + 7\% + 15\%} \\
 &= 2,7160
 \end{aligned}$$

4.2. *Blending Agregat*

Cara dan tahapan *blending* gradasi agregat dengan *trial and error* :

$$P = a.A + b.B + c.C + d.D \dots\dots\dots \text{Pers. 4. 1.}$$

Keterangan :

P : Persen lolos saringan dengan ukuran (mm) yang diinginkan.

A : Persen lolos saringan fraksi agregat kasar dengan ukuran $d = \dots\text{mm}$

B : Persen lolos saringan fraksi agregat medium dengan ukuran $d = \dots\text{mm}$

C : Persen lolos saringan fraksi agregat halus dengan ukuran $d = \dots\text{mm}$

D : Persen lolos saringan fraksi agregat filler dengan ukuran $d = \dots\text{mm}$

Untuk persentase nilai a, b, c, d diperoleh dengan mencoba – coba nilai agar terbentuk gradasi yang sesuai dengan spesifikasi umum 2018 serta $a + b + c + d = 100\%$.

Tabel IV.21. Hasil Analisis Saringan Agregat

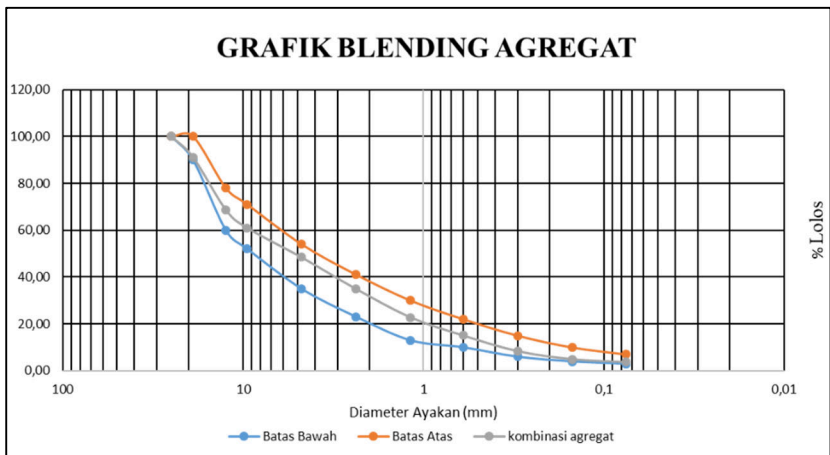
No. Saringan	PERSENTASE LOLOS SARINGAN				
	diameter lubang (mm)	Agregat 20 - 10	Agregat 10 - 10	Agregat 10 - 5	Agregat 5 - 0
		% lolos	% lolos	% lolos	% lolos
1"	25	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19	65,96	100,00	100,00	100,00
1/2"	12,5	1,64	62,11	100,00	100,00
3/8"	9,5	0,04	13,38	100,00	100,00
No. 4	4,75	0,00	0,10	44,39	100,00
No. 8	2,36	0,00	0,00	0,07	87,22
No. 16	1,18	0,00	0,00	0,00	57,04
No. 30	0,6	0,00	0,00	0,00	37,64
No. 50	0,3	0,00	0,00	0,00	21,02
No. 100	0,15	0,00	0,00	0,00	12,49
No. 200	0,075	0,00	0,00	0,00	9,28

Tabel IV.22. Hasil Blending Agregat

No. Saringan	PERSENTASE LOLOS SARINGAN				
	diameter lubang (mm)	Agregat 20 - 10	Agregat 10 - 10	Agregat 10 - 5	Agregat 5 - 0
		26%	15%	19%	40%
1"	25,00	26,00	15,00	19,00	40,00
3/4"	19,00	17,15	15,00	19,00	40,00
1/2"	12,50	0,43	9,32	19,00	40,00
3/8"	9,50	0,01	2,01	19,00	40,00
No. 4	4,75	0,00	0,01	8,43	40,00
No. 8	2,36	0,00	0,00	0,01	34,89
No. 16	1,18	0,00	0,00	0,00	22,82
No. 30	0,60	0,00	0,00	0,00	15,06
No. 50	0,30	0,00	0,00	0,00	8,41
No. 100	0,15	0,00	0,00	0,00	5,00
No. 200	0,08	0,00	0,00	0,00	3,71

Tabel IV.23. Lanjutan Hasil Blending Agregat

No. Saringan	PERSENTASE LOLOS SARINGAN					Keterangan
	diameter lubang (mm)	Total	BB	average	BA	
1"	25	100,00	100	100	100	OK
3/4"	19	91,15	90	95	100	OK
1/2"	12,5	68,74	60	69	78	OK
3/8"	9,5	61,02	52	61,5	71	OK
No. 4	4,75	48,45	35	44,5	54	OK
No. 8	2,36	34,90	23	32	41	OK
No. 16	1,18	22,82	13	21,5	30	OK
No. 30	0,6	15,06	10	16	22	OK
No. 50	0,3	8,41	6	10,5	15	OK
No. 100	0,15	5,00	4	7	10	OK
No. 200	0,075	3,71	3	5	7	OK



Gambar IV.17. Grafik Blending Agregat

4.3. Kadar Aspal Rencana

Dalam perencanaan pembuatan campuran aspal, terlebih dahulu dilakukan perkiraan kadar aspal optimum (Pb) berdasarkan peraturan Bina Marga 2010 sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + k. \text{Pers.4.2}$$

Keterangan :

Pb : kadar aspal ideal (% terhadap berat campuran)

CA : % agregat tertahan saringan No. 8

FA : % agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200

FF : filler, persentase agregat minimal 75% lolos saringan No. 200

K : Nilai konstanta (untuk laston $\pm 0,5$).

4.3.1. Fraksi Desain Butiran Agregat

1. Variasi komposisi gradasi agregat gabungan (No. 8)

$$FA = \sum \left(\% \text{lolos ayakan no. 8} \times \frac{\%CA}{100} \right)$$

dimana,

$\%CA$ = Persentase agregat yang telah ditentukan sesuai perhitungan blending agregat.

$$\begin{aligned} \text{Agregat 5 - 10} &= \left(\% \text{lolos ayakan no.8} \times \frac{\%CA}{100} \right) \\ &= 0,07 \times \frac{19}{100} \\ &= 0,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregat 0 - 5} &= \left(\% \text{lolos ayakan no.8} \times \frac{\%CA}{100} \right) \\ &= 87,22 \times \frac{40}{100} \\ &= 34,89 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} FA &= 0,01 + 34,89 \\ &= 34,9 \% \end{aligned}$$

2. Variasi komposisi gradasi agregat gabungan (No. 200)

$$FF = \sum \left(\% \text{lolos ayakan no. 200} \times \frac{\%CA}{100} \right)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat 5 – 10} &= (\% \text{lolos ayakan no.8} \times \frac{\%CA}{100}) \\
 &= 9,28 \times \frac{40}{100} \\
 &= 3,71 \%
 \end{aligned}$$

Nilai fraksi butiran didapatkan :

$$\begin{aligned}
 CA &= 100 \% - 34,9 \% \\
 &= 65,1 \% \\
 FA &= 34,9\% - 3,71\% \\
 &= 31,19\% \\
 FF &= 3,71 \% \\
 \text{Total} &= 65,1 \% + 31,19\% + 3,71 \% \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

Perkiraan aspal rencana berdasarkan gradasi :

$$\begin{aligned}
 Pb &= 0,3 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,04 (\%FF) + k \\
 &= 0,3 (65,1 \%) + 0,045 (31,19\%) + 0,04 (3,71\%) \\
 &\quad + 0,5 \\
 &= 4,35 \%
 \end{aligned}$$

4.3.2. Fraksi desain butiran campuran

Penentuan fraksi butiran campuran ditentukan sebagai rencana akan kebutuhan campuran agregat yang digunakan. Nilai fraksi butiran didapatkan :

Agregat Kasar (CA)

$$\begin{aligned}
 CA &= 65,1\% \times \frac{(100-4,285)}{100} \\
 &= 62,2665 \%
 \end{aligned}$$

Agregat Halus (FA)

$$\begin{aligned}
 FA &= 31,67\% \times \frac{(100-4,285)}{100} \\
 &= 29,8323 \%
 \end{aligned}$$

Agregat lolos saringan No. 200 (FF)

$$\begin{aligned} \text{FF} &= 3,23 \% \times \frac{(100-4,285)}{100} \\ &= 3,5509 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total} &= 62,3 \% + 29,8323 \% + 3,23 \% \\ &= 95,6 \% \end{aligned}$$

Nilai fraksi desain butiran campuran didapatkan sebesar :

$$\text{Total} = 95,6 \% + 4,35 \% = 100\%$$

4.3.3. Perkiraan awal penyerapan aspal

Nilai penyerapan aspal didapatkan dari nilai penyerapan air oleh tiap – tiap fraksi agregat. Berikut nilai penyerapan air tiap – tiap agregat:

- Agregat 10 - 20 = 0,26 x 0,6
= 0,156 %
 - Agregat 10 – 10 = 0,15 x 1,167
= 0,175 %
 - Agregat 5 – 10 = 0,19 x 1,533
= 0,291 %
 - Agregat 0 – 5 = 0,4x 2,98
= 1,192 %
- $$\text{Total} = 1,815 \%$$

Maka, nilai penyerapan aspal didapatkan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan aspal} &= \textit{konstanta} \times 1,815 \\ &= 0,45 \times 1,815 \% \\ &= 0,82 \% \\ \text{Kadar aspal} &= 0,82 \% + 4,35 \% \\ &= 5,17 \% \end{aligned}$$

4.4. Variasi kadar aspal rencana

Berdasarkan hasil penghitungan kadar aspal rencana yaitu sebesar 5,17 %. Maka variasi kadar aspal rencana

untuk mengetahui kadar optimum aspal dibuat beberapa variasi yaitu 4,17%, 4,67%, 5,17%, 5,67%, 6,17% Adapun contoh penghitungan kadar aspal rencana sebaagi berikut :

$$\begin{aligned} \text{Berat kadar aspal} &= \text{berat sampel} \times \frac{\% \text{ KAO}}{100} \\ \text{Berat agregat 10 - 20} &= 1200 \text{ gr} \times \frac{26}{100} \\ &= 312 \text{ gr} \\ \text{Berat agregat 10 - 10} &= 1200 \text{ gr} \times \frac{15}{100} \\ &= 180 \text{ gr} \\ \text{Berat agregat 5 - 10} &= 1200 \text{ gr} \times \frac{19}{100} \\ &= 228 \text{ gr} \\ \text{Berat agregat 0 - 5} &= 1200 \text{ gr} \times \frac{40}{100} \end{aligned}$$

Tabel IV.24. Variasi campuran kadar aspal 4,17 %

VARIASI 1			
Kadar aspal rencana	=	4,17	%
Berat sampel	=	1200	gr
Berat kadar aspal	=	50,00	gr
Berat agregat 10 - 20	: 26 % =	312	gr
Berat agregat 10 - 10	: 15 % =	180	gr
Berat agregat 5 - 10	: 19 % =	228	gr
Berat agregat 0 - 5	: 40 % =	480	gr

Tabel IV.25. Variasi campuran kadar aspal 4,67 %

VARIASI 2			
Kadar aspal rencana	=	4,67	%
Berat sampel	=	1200	gr
Berat kadar aspal	=	56,00	gr
Berat agregat 10 - 20 : 26 %	=	312	gr
Berat agregat 10 - 10 : 15 %	=	180	gr
Berat agregat 5 - 10 : 19 %	=	228	gr
Berat agregat 0 - 5 : 40 %	=	480	gr

Tabel IV.26. Variasi campuran kadar aspal 5,17 %

VARIASI 3			
Kadar aspal rencana	=	5,17	%
Berat sampel	=	1200	gr
Berat kadar aspal	=	62,00	gr
Berat agregat 10 - 20 : 26 %	=	312	gr
Berat agregat 10 - 10 : 15 %	=	180	gr
Berat agregat 5 - 10 : 19 %	=	228	gr
Berat agregat 0 - 5 : 40 %	=	480	gr

Tabel IV.27. Variasi campuran kadar aspal 5,67 %

VARIASI 4			
Kadar aspal rencana	=	5,67	%
Berat sampel	=	1200	gr
Berat kadar aspal	=	68,00	gr
Berat agregat 10 - 20 : 26 %	=	312	gr
Berat agregat 10 - 10 : 15 %	=	180	gr
Berat agregat 5 - 10 : 19 %	=	228	gr
Berat agregat 0 - 5 : 40 %	=	480	gr

Tabel IV.28. Variasi campuran kadar aspal 6,17%

VARIASI 5			
Kadar aspal rencana	=	6,17	%
Berat sampel	=	1200	gr
Berat kadar aspal	=	74,00	gr
Berat agregat 10 - 20 : 26 %	=	312	gr
Berat agregat 10 - 10 : 15 %	=	180	gr
Berat agregat 5 - 10 : 19 %	=	228	gr
Berat agregat 0 - 5 : 40 %	=	480	gr

4.5. Hasil pengujian aspal rencana

Setelah dilakukan penghitungan variasi kadar aspal rencana maka dilakukan pembuatan benda uji. Benda uji di buat 3 buah setiap variasi. Adapun hasil pengujian berat jenis dan *marshall* sebagai berikut :

Tabel IV.29. Hasil Pengujian *Marshall* KAO

Kadar Aspal = 5,67%		Kadar Plastik = 0%					
No	Kode Sampel	Berat			Stabilitas		Flow (Kelelahan) mm
		Kering	SSD	Di Air	kN	kg	
		gr	gr	gr			
1	ZK1-5,67-0	1176	1184	682	20,372	2076,3	4,890
2	ZK2-5,67-0	1180	1186	680	19,492	1986,6	4,896
3	ZK3-5,67-0	1176	1178	680	21,867	2228,7	6,446
Rata - rata		1177,33	1182,67	680,667	20,577	2097,2	5,411
Kadar Aspal = 6,17%		Kadar Plastik = 0%					
No	Kode Sampel	Berat			Stabilitas		Flow (Kelelahan) mm
		Kering	SSD	Di Air	kN	kg	
		gr	gr	gr			
1	ZK1-6,17-0	1184	1197	692	18,578	1893,5	5,244
2	ZK3-6,17-0	1178	1189	690	23,602	2405,5	5,250
3	ZK4-6,17-0	1178	1193	686	19,219	1958,8	6,912
Rata - rata		1180	1193	689,333	21,090	2085,9	5,802

Tabel IV.30. Lanjutan Hasil Pengujian *Marshall* KAO

Kadar Aspal = 4,17%			Kadar Plastik = 0%				
No	Kode Sampel	Berat			Stabilitas		Flow (Kelelahan)
		Kering	SSD	Di Air	kN	kg	
		gr	gr	gr			mm
1	ZK1-4,17-0	1196	1215	686	14,491	1477,6	4,877
2	ZK2-4,17-0	1190	1209	690	19,467	1985,0	6,827
3	ZK5-4,17-2	1186	1203	688	22,983	2343,6	3,687
Rata - rata		1190,67	1209	688	18,980	1935,4	5,130
Kadar Aspal = 4,67%			Kadar Plastik = 0%				
No	Kode Sampel	Berat			Stabilitas		Flow (Kelelahan)
		Kering	SSD	Di Air	kN	kg	
		gr	gr	gr			mm
1	ZK1-4,67-0	1192	1206	696	18,224	1857,4	4,087
2	ZK2-4,67-0	1184	1208	690	21,301	2171,0	7,736
3	ZK3-4,67-0	1182	1192	688	20,837	2123,7	3,236
Rata - rata		1186	1202	691,333	20,121	2050,7	5,019
Kadar Aspal = 5,17%			Kadar Plastik = 0%				
No	Kode Sampel	Berat			Stabilitas		Flow (Kelelahan)
		Kering	SSD	Di Air	kN	kg	
		gr	gr	gr			mm
1	ZK2-5,17-0	1184	1198	692	19,205	1957,4	5,563
2	ZK4-5,17-0	1184	1200	686	20,329	2071,9	4,978
3	ZK5-5,17-0	1172	1184	684	22,685	2312,1	5,304
Rata - rata		1180	1194	687,333	20,740	2113,8	5,282

4.5.1. Menghitung Berat Jenis Teori Maksimum (Gmm)

Tabel IV.31. Berat Jenis Maksimum Agregat Gabungan

No	Kadar Aspal (Pb)	BJ Aspal	% Agregat	Gse	[3 / 4]	[1 / 2]	[5 + 6]	BJ. Teori max
			100 - Pb					100 / (7)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	4,17 %	1,01	95,83	2,72	35,28	4,129	39,41213	2,537
2	4,67 %		95,33	2,72	35,1	4,624	39,72	2,517
3	5,17 %		94,83	2,72	34,92	5,119	40,03404	2,498
4	5,67 %		94,33	2,72	34,73	5,614	40,345	2,479
5	6,17 %		93,83	2,72	34,55	6,109	40,65595	2,460

4.6. Hasil Analisis Parameter Pengujian *Marshall*

4.6.1. Density

Berikut adalah hasil analisis *density* dari campuran aspal rencana yaitu dengan kadar aspal 4,17%, 4,67%, 5,17%, 5,67%, 6,17% :

Contoh perhitungan :

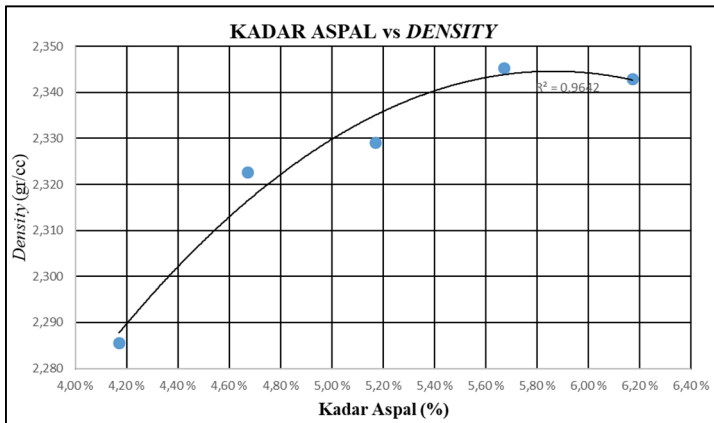
Kadar aspal 5,17%

Rumus :

$$\begin{aligned} \text{Density} &= \frac{\text{Berat Kering}}{\text{Berat SSD} + \text{Berat dalam air}} \\ &= \frac{1180}{1194 + 687,33} \\ &= 2,329 \end{aligned}$$

Tabel IV.32. Hasil *Density* KAO

Kode benda uji	% aspal	Berat kering (gr)	Berat jenuh (gr)	Berat dalam air (gr)	<i>Density</i> (gr/cc)
ZK - 4,17 - 0	4,17	1190,67	1209,00	688,00	2,285
ZK - 4,67 - 0	4,67	1186,00	1202,00	691,33	2,322
ZK - 5,17 - 0	5,17	1180,00	1194,00	687,33	2,329
ZK - 5,67 - 0	5,67	1177,33	1182,67	680,67	2,345
ZK - 6,17 - 0	6,17	1180,00	1193,00	689,33	2,343



Gambar IV.18. Grafik hubungan antara Kadar Aspal dengan *Density* hasil pengujian

Berdasarkan hasil grafik dan tabel di atas, terjadi peningkatan nilai kepadatan seiring dengan penambahan kadar aspal dari kepadatan 2,285 gr/cc dengan kadar aspal 4,17% hingga mencapai titik puncak dengan nilai kepadatan 2,345 gr/cc dan kadar aspal 5,67%. Setelah mencapai titik puncak, terjadi penurunan nilai kepadatan, yaitu dari 2,345gr/cc ke 2,343 gr/cc dengan kadar aspal 6,17%. Hasil ini sesuai dengan (Roberts et al., 1996) yang menyatakan bahwa kadar aspal naik maka nilai *density* akan naik juga, namun tidak selalu memberikan dampak positif pada kinerja campuran.

4.6.2. Void In Mix (VIM)

Berikut adalah hasil analisis *VIM* dari campuran aspal rencana :

Contoh perhitungan :

Kadar aspal 5,17 %

Rumus :

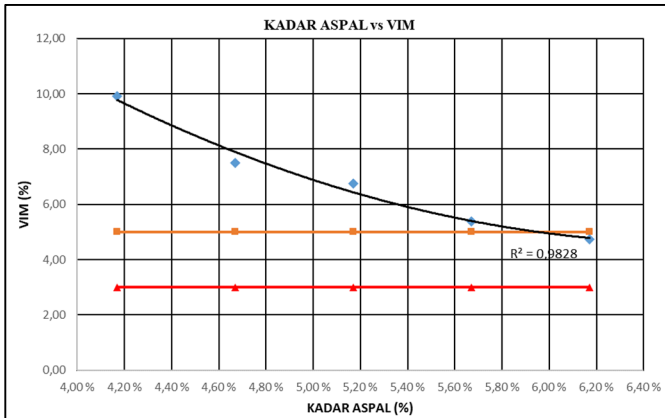
$$\text{VIM} = 100 \% \times \frac{\text{Density}}{\text{BJ Teori Maximum}}$$

$$\text{VIM} = 100 \% \times \frac{2,329}{2,498}$$

$$\text{VIM} = 6,76 \%$$

Tabel IV.33. Hasil VIM KAO

NO	KODE BENDA UJI	kadar aspal	VIM manual	syarat vim		keterangan
				min	max	
1	ZK - 4,17 - 0	4,17 %	9,92	3	5	NOT OK
2	ZK - 4,67 - 0	4,67 %	7,50	3	5	NOT OK
3	ZK - 5,17 - 0	5,17 %	6,76	3	5	NOT OK
4	ZK - 5,67 - 0	5,67 %	5,38	3	5	NOT OK
5	ZK - 6,17 - 0	6,17 %	4,75	3	5	OK



Gambar IV.19. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan VIM hasil pengujian.

Berdasarkan grafik dan table di atas, didapatkan bahwa nilai rongga pada campuran berbanding terbalik dengan kadar aspal dan *density*. Sehingga, semakin tinggi kadar aspal campuran maka rongga pada campuran (VIM) akan

semakin rendah karena campuran aspal makin rapat. Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai VIM campuran semakin rendah seiring dengan penambahan kadar aspal, yaitu dari 9,92% nilai VIM pada kadar aspal 4,17% hingga nilai VIM 4,75% pada kadar aspal 6,17%. Terdapat 5 variasi kadar aspal dan hanya 1 variasi yang memiliki nilai VIM sesuai dengan spesifikasi umum 2018, yaitu variasi dengan kadar aspal 6,17% kode ZK – 6,17 – 0.

4.6.3. Void In Mineral Aggregate (VMA)

Berikut adalah hasil analisis *VMA* dari campuran aspal rencana :

Contoh perhitungan :

Kadar aspal 5,17%

Rumus :

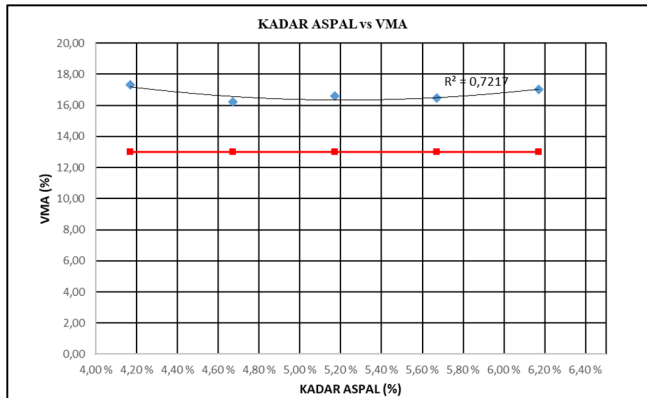
$$VMA = 100 \times \frac{(100 - \% \text{ kadar aspal}) \times \text{Density}}{\text{BJ Bulk Agregat}}$$

$$VMA = 100 \times \frac{(100 - 5,17) \times 2,33}{2,65}$$

$$VMA = 16,61 \%$$

Tabel IV.34. Hasil VMA KAO

NO	KODE BENDA UJI	Kadar Aspal	VMA	Syarat VMA	keterangan
				MIN	
1	ZK - 4,17 - 0	4,17 %	17,31	13,00	OK
2	ZK - 4,67 - 0	4,67 %	16,23	13,00	OK
3	ZK - 5,17 - 0	5,17 %	16,61	13,00	OK
4	ZK - 5,67 - 0	5,67 %	16,47	13,00	OK
5	ZK - 6,17 - 0	6,17 %	17,00	13,00	OK



Gambar IV.20. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan VMA hasil pengujian.

Berdasarkan data tabel dan grafik di atas, nilai VMA mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar aspal hingga mencapai titik balik minimum lalu naik kembali. Semua sampel campuran aspal memiliki nilai VMA yang memenuhi spesifikasi umum binamarga 2018. Nilai VMA tertinggi adalah 17,31% pada kadar aspal 4,17%, sedangkan untuk nilai VMA terendah adalah 16,23% pada kadar aspal 4,67%.

4.6.4. Void Filled Asphalt (VFA)

Berikut adalah hasil analisis *VFA* dari campuran aspal rencana :

Contoh perhitungan :

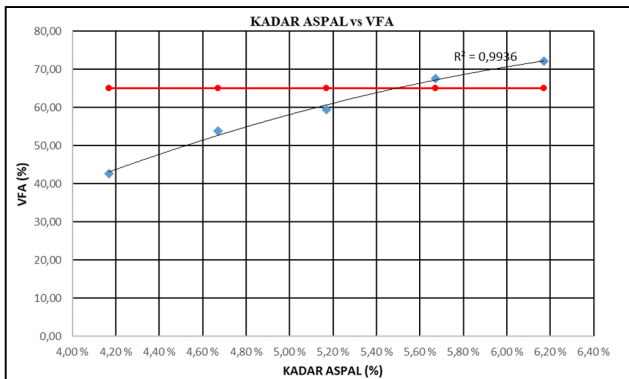
Kadar aspal 5,17%

Rumus :

$$\begin{aligned} \text{VFA} &= 100 \times \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \\ \text{VFA} &= 100 \times \frac{16,61 - 6,755}{16,61} \\ \text{VFA} &= 59,44 \% \end{aligned}$$

Tabel IV.35. Hasil VFA KAO

NO	KODE BENDA UJI	Kadar Aspal	VFA	Syarat VFA	KETERANGAN
				min	
1	ZK - 4,17 - 0	4,17 %	42,75	65	NOT OK
2	ZK - 4,67 - 0	4,67 %	53,90	65	NOT OK
3	ZK - 5,17 - 0	5,17 %	59,44	65	NOT OK
4	ZK - 5,67 - 0	5,67 %	67,68	65	OK
5	ZK - 6,17 - 0	6,17 %	72,17	65	OK



Gambar IV.21. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan VFA hasil pengujian.

Nilai VFA mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kadar aspal karena rongga campuran semakin banyak terisi aspal. Nilai VFA tertinggi adalah 72,17% pada kadar aspal 6,17%, sedangkan nilai VFA terendah adalah 42,75% pada kadar aspal 4,17%. Berdasarkan data tabel dan grafik di atas dari 5 variasi kadar aspal, hanya kadar aspal 5,67% dan 6,17% yang memiliki nilai VFA memenuhi Spesifikasi Umum Binamarga 2018.

4.6.5. Stabilitas

Berikut adalah hasil analisis *VFA* dari campuran aspal rencana :

Contoh perhitungan :

Kadar aspal 5,17%

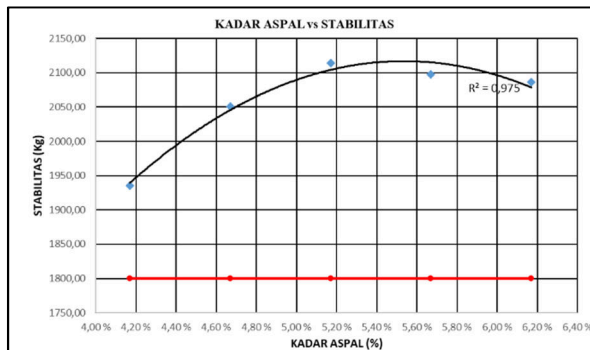
Rumus = Nilai bacaan alat *marshall* x kalibrasi (kN ke Kg)

Rumus = 20,74 kN x 101,97

Rumus = 2113,79 kN

Tabel IV.36. Hasil Stabilitas KAO

NO	KODE BENDA UJI	KADAR ASPAL	STABILITAS (kN)	STABILITAS (Kg)	SYARAT STABILITAS (MIN)	KETERANGAN
1	ZK - 4,17 - 0	4,17 %	18,98	1935,42	1800,00	OK
2	ZK - 4,67 - 0	4,67 %	20,12	2050,70	1800,00	OK
3	ZK - 5,17 - 0	5,17 %	20,74	2113,79	1800,00	OK
4	ZK - 5,67 - 0	5,67 %	20,58	2097,19	1800,00	OK
5	ZK - 6,17 - 0	6,17 %	21,09	2085,93	1800,00	OK



Gambar IV.22. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas hasil pengujian.

Nilai stabilitas terus naik seiring bertambahnya nilai kadar aspal hingga mencapai titik puncak lalu turun.

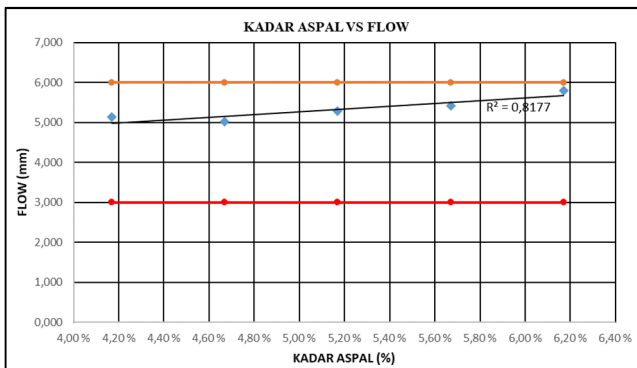
Berdasarkan grafik di atas, nilai stabilitas tertinggi adalah 2113,79 Kg pada kadar aspal 5,17% serta 1935,42 Kg.

4.6.6. Flow

Berikut adalah hasil analisis *flow* dari campuran aspal rencana :

Tabel IV.37. Hasil *Flow* KAO

NO	KODE BENDA UJI	KADAR ASPAL	FLOW (mm)	SYARAT FLOW (mm)			KETERA NGAN
				MIN	-	MAX	
1	ZK - 4,17 - 0	4,17 %	5,130	3	-	6	OK
2	ZK - 4,67 - 0	4,67 %	5,019	3	-	6	OK
3	ZK - 5,17 - 0	5,17 %	5,282	3	-	6	OK
4	ZK - 5,67 - 0	5,67 %	5,411	3	-	6	OK
5	ZK - 6,17 - 0	6,17 %	5,802	3	-	6	OK



Gambar IV.23. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan *flow* hasil pengujian.

Nilai *flow* naik seiring bertambahnya nilai kadar aspal. Nilai *flow* tertinggi adalah 5,802 mm pada kadar aspal 7% serta nilai *flow* terendah adalah 5,019 mm pada kadar aspal 4,67%. Semua benda uji memiliki nilai *flow* yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Binamarga, 2018.

4.6.7. Marshall Quotient (MQ)

Berikut adalah hasil analisis *Marshall Quotient* dari campuran aspal rencana :

Contoh perhitungan :

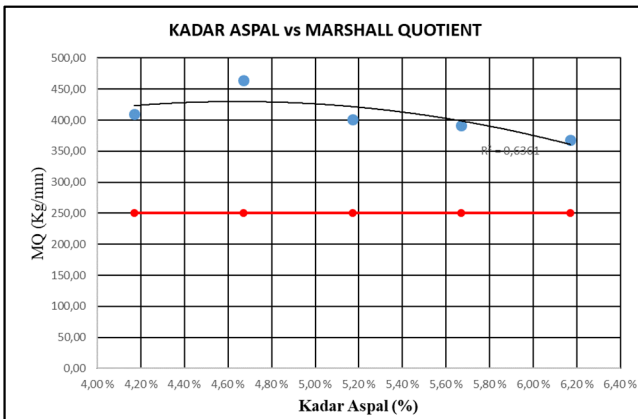
Kadar aspal 5,17%

Rumus :

$$\begin{aligned} \text{MQ} &= \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} \\ &= \frac{2113,79 \text{ Kg}}{5,282 \text{ mm}} \\ &= 401,33 \text{ Kg/mm} \end{aligned}$$

Tabel IV.38. Hasil MQ KAO

NO	KODE BENDA UJI	KADAR ASPAL	MARSHALL QUOTIENT	SYARAT MQ (MIN)	KETERANGAN
1	ZK - 4,17 - 0	4,17 %	409,78	250,00	OK
2	ZK - 4,67 - 0	4,67 %	463,82	250,00	OK
3	ZK - 5,17 - 0	5,17 %	401,33	250,00	OK
4	ZK - 5,67 - 0	5,67 %	392,02	250,00	OK
5	ZK - 6,17 - 0	6,17 %	367,56	250,00	OK

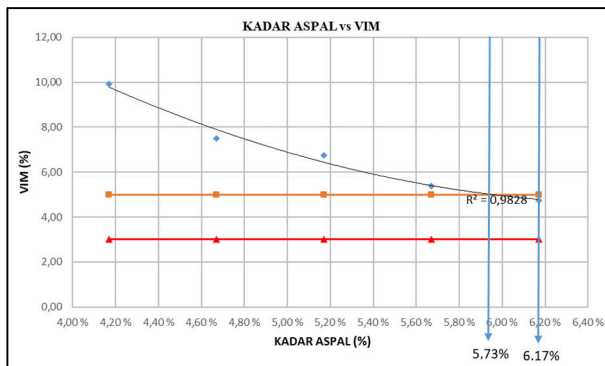


Gambar IV.24. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan *Marshall Quotient* hasil pengujian.

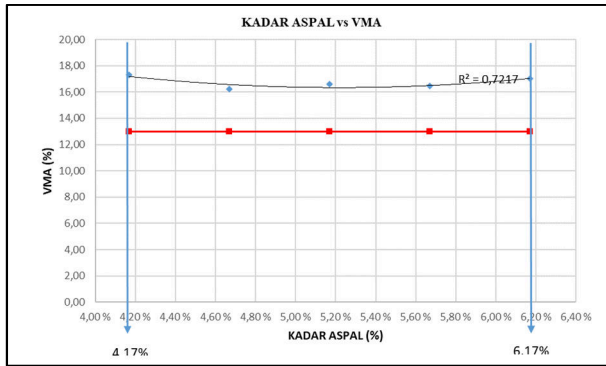
Grafik nilai *Marshall Quotient* (MQ) berbentuk parabola menyerupai grafik stabilitas. Berdasarkan grafik di atas, nilai stabilitas MQ tertinggi adalah 463,82 Kg/mm pada kadar aspal 4,67% serta nilai MQ terendah adalah 367,56 Kg/mm pada kadar aspal 6,17%. Semua benda uji memiliki nilai MQ yang memenuhi Spesifikasi Umum Binamarga 2018.

4.6.8. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

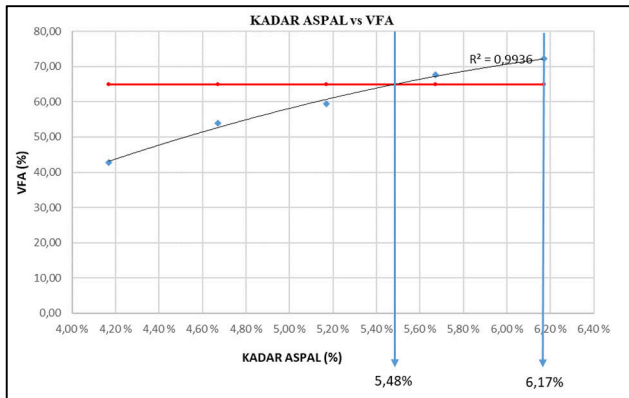
Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan metode grafik, yaitu metode dengan cara membuat batas – batas nilai parameter *marshall* yang memenuhi spesifikasi umum Binamarga 2018 dari campuran aspal. Batas dibuat dari grafik parameter yang berpotongan dengan batas atas dan batas bawah. Apabila tidak ada garis yang berpotongan, maka ada dua kemungkinan mengenai nilai parameter *marshall* yaitu semua benda uji tidak memenuhi syarat atau memenuhi syarat. Berikut adalah grafik dan tabel dalam penentuan KAO :



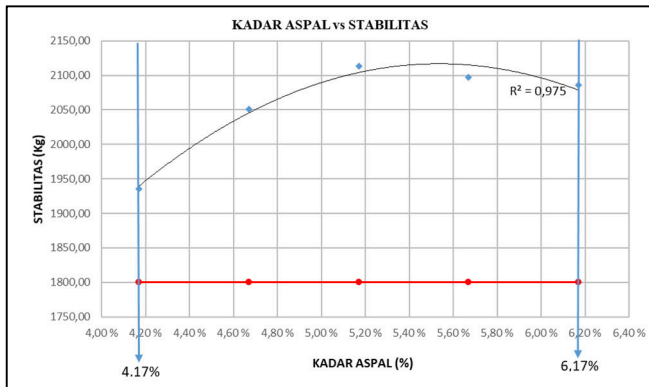
Gambar IV.25. Grafik peninjauan VIM untuk penentuan KAO.



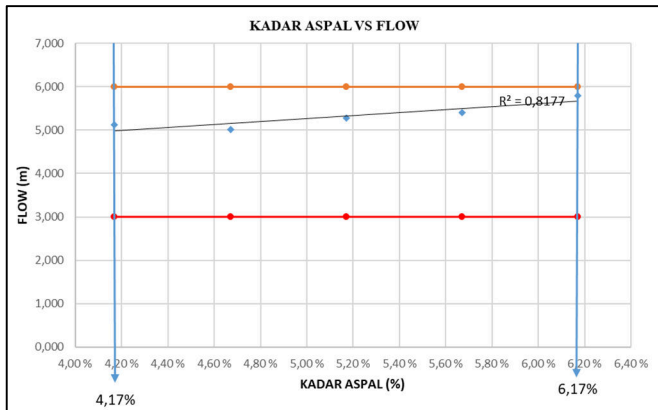
Gambar IV.26. Grafik peninjauan VMA untuk penentuan KAO.



Gambar IV.27. Grafik peninjauan VFA untuk penentuan KAO.

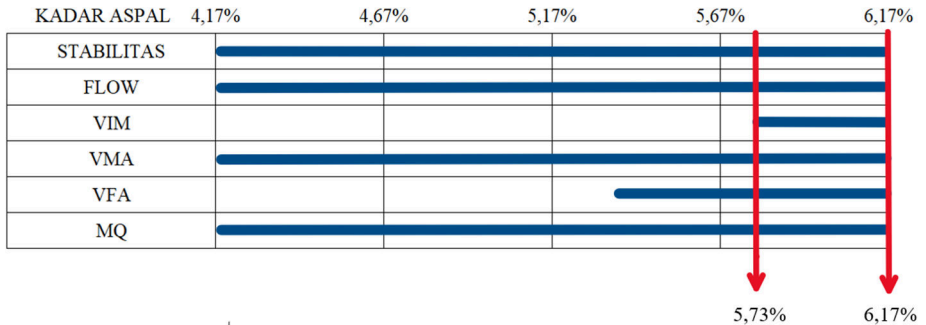


Gambar IV.28. Grafik peninjauan stabilitas untuk penentuan KAO.



Gambar IV.29. Grafik peninjauan *flow* untuk penentuan KAO.

Tabel IV.39. Rekapitulasi dari grafik penentuan kadar aspal optimum



$$\text{Perhitungan KAO} = \frac{5,73\% + 6,17\%}{2} = 5,95\%$$

Didapatkan nilai KAO yang digunakan adalah 5,95%

4.7. Menghitung Variasi Kadar Plastik

Variasi kadar plastik yang digunakan yaitu 2% hingga 10% dengan interval 2% dihitung dari KAO. Berikut adalah perhitungan proporsi campuran aspal dengan penambahan kadar plastik sebagai bahan aditif :

Contoh Perhitungan Proporsi kadar plastik 2%

$$\begin{aligned} \text{Kadar Aspal Optimum} &= \frac{\% \text{KAO}}{100\%} \times \text{berat benda uji} \\ &= \frac{5,95\%}{100\%} \times 1200 \text{ gr} = 69,97 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Kadar Plastik} &= \frac{\% \text{Kadar Plastik}}{100\%} \times \text{Kadar Aspal Optimum} \\ &= \frac{1\%}{100\%} \times 69,97 \text{ gr} = 1,43 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Kadar Aspal} = \text{Kadar Aspal Optimum} - \text{Kadar Plastik}$$

$$= 69,97 \text{ gr} - 1,43 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Agregat } 10 - 20 = \frac{26 \%}{100 \%} \times 1128,6 \text{ gr} = 293,44 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Agregat } 10 - 10 = \frac{15 \%}{100 \%} \times 1128,6 \text{ gr} = 169,29 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Agregat } 5 - 10 = \frac{19 \%}{100 \%} \times 1128,6 \text{ gr} = 214,43 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Agregat } 0 - 5 = \frac{40 \%}{100 \%} \times 1128,6 \text{ gr} = 451,44 \text{ gr}$$

Tabel IV.40. Variasi 1 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 1	
MATERIAL	KADAR
Berat sampel	= 1200 gr
Kadar aspal optimum	= 5,95 %
Kadar plastik	= 0 %
Berat kadar aspal	= 71,40 gr
Berat kadar plastik	= 0 gr
Berat agregat 10 - 20	: 26 % = 293,44 gr
Berat agregat 10 - 10	: 15 % = 169,29 gr
Berat agregat 5 - 10	: 19 % = 214,43 gr
Berat agregat 0 - 5	: 40 % = 451,44 gr
TOTAL	= 1200 gr

Tabel IV.41. Variasi 2 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 2	
MATERIAL	KADAR
Berat sampel	= 1200 gr
Kadar aspal optimum	= 5,95 %
Kadar plastik	= 2 %
Berat kadar aspal	= 69,97 gr
Berat kadar plastik	= 1,43 gr
Berat agregat 10 - 20 : 26 %	= 293,44 gr
Berat agregat 10 - 10 : 15 %	= 169,29 gr
Berat agregat 5 - 10 : 19 %	= 214,43 gr
Berat agregat 0 - 5 : 40 %	= 451,44 gr
TOTAL	= 1200 gr

Tabel IV.42. Variasi 3 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 3	
MATERIAL	KADAR
Berat sampel	= 1200 gr
Kadar aspal optimum	= 5,95 %
Kadar plastik	= 4 %
Berat kadar aspal	= 68,54 gr
Berat kadar plastik	= 2,86 gr
Berat agregat 10 - 20 : 26 %	= 293,44 gr
Berat agregat 10 - 10 : 15 %	= 169,29 gr
Berat agregat 5 - 10 : 19 %	= 214,43 gr
Berat agregat 0 - 5 : 40 %	= 451,44 gr
TOTAL	= 1200 gr

Tabel IV.43. Variasi 4 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 4	
MATERIAL	KADAR
Berat sampel	= 1200 gr
Kadar aspal optimum	= 5,95 %
Kadar plastik	= 6 %
Berat kadar aspal	= 67,12 gr
Berat kadar plastik	= 4,28 gr
Berat agregat 10 - 20	: 26 % = 293,44 gr
Berat agregat 10 - 10	: 15 % = 169,29 gr
Berat agregat 5 - 10	: 19 % = 214,43 gr
Berat agregat 0 - 5	: 40 % = 451,44 gr
TOTAL	= 1200 gr

Tabel IV.44. Variasi 5 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 5	
MATERIAL	KADAR
Berat sampel	= 1200 gr
Kadar aspal optimum	= 5,95 %
Kadar plastik	= 8 %
Berat kadar aspal	= 65,69 gr
Berat kadar plastik	= 5,71 gr
Berat agregat 10 - 20	: 26 % = 293,44 gr
Berat agregat 10 - 10	: 15 % = 169,29 gr
Berat agregat 5 - 10	: 19 % = 214,43 gr
Berat agregat 0 - 5	: 40 % = 451,44 gr
TOTAL	= 1200 gr

Tabel IV.45. Variasi 6 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 6	
MATERIAL	KADAR
Berat sampel	= 1200 gr
Kadar aspal optimum	= 5,95 %
Kadar plastik	= 10 %
Berat kadar aspal	= 64,26 gr
Berat kadar plastik	= 7,14 gr
Berat agregat 10 - 20 : 26 %	= 293,44 gr
Berat agregat 10 - 10 : 15 %	= 169,29 gr
Berat agregat 5 - 10 : 19 %	= 214,43 gr
Berat agregat 0 - 5 : 40 %	= 451,44 gr
TOTAL	= 1200 gr

4.8. Hasil pengujian aspal plastik.

Pengujian campuran aspal berupa uji *marshall*, berat SSD, berat kering, dan berat di dalam air. Benda uji yang dibuat setiap kadar plastik berjumlah 3 buah. Berikut adalah hasil pengujian campuran aspal :

Tabel IV.46. Hasil Bacaan Pengujian Alat *Marshall* dan Berat Campuran.

Kode Benda Uji	Kadar Plastik	Berat Kering (gr)	Berat SSD (gr)	Berat di Air (gr)	Bacaan Alat Marshall	
					Stabilitas (Kg)	Flow (mm)
ZK1-KAO-0	0%	1189	1192,3	692,9	2109,5	5,414
ZK2-KAO-0		1187	1196,2	688,5	2324,4	6,773
ZK3-KAO-0		1185	1193,8	693,2	1887,4	4,403
ZK1-KAO-2	2%	1190	1197,9	694,4	2075,2	8,875
ZK2-KAO-2		1189	1195,4	694,5	2025,0	4,677
ZK3-KAO-2		1185	1193,1	689	2706,7	3,414
ZK1-KAO-4	4%	1186	1198,1	691,6	2610,4	4,762
ZK2-KAO-4		1184	1196,4	689,6	1928,7	4,384
ZK3-KAO-4		1193	1201	694,7	2180,4	7,098
ZK1-KAO-6	6%	1183	1196,7	690,5	2958,9	4,725
ZK2-KAO-6		1181	1196,1	685,8	2193,8	6,273
ZK3-KAO-6		1185	1197,7	690,7	3063,2	7,573
ZK1-KAO-8	8%	1179	1195,9	681	2485,6	6,561
ZK2-KAO-8		1186	1201,3	690,5	3178,7	4,574
ZK3-KAO-8		1181	1195,9	685,4	2446,5	6,543
ZK1-KAO-10	10%	1188	1207,88	690,9	2726,1	6,161
ZK2-KAO-10		1187	1208,58	692,6	3493,7	9,381
ZK3-KAO-10		1186	1206,67	692,7	3325,5	4,018

4.9. Berat Jenis Teori Maksimum Campuran dengan Aspal Modifikasi

Berat jenis maksimum campuran adalah berat jenis maksimum dari campuran tanpa rongga udara. Pada penelitian ini berat jenis aspal modifikasi mengalami perubahan seiring dengan bertambahnya kadar plastik. Maka, nilai berat jenis teori maksimum campuran dengan aspal modifikasi berbeda dengan berat jenis teori maksimum dengan aspal konvensional. Berikut adalah perhitungan berat jenis teori maksimum campuran :

Tabel IV.47. Berat Jenis Teori Maksimum Campuran dengan Aspal Plastik

No	Kadar Plastik	Kadar Aspal (Pb)	BJ Aspal	% Agregat	Gse	[3 / 4]	[1 / 2]	[5 + 6]	BJ. Teori max
				100 - Pb					100 / (7)
	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0%	5,95 %	1,01	94,05	2,72	34,63	5,913	40,541	2,467
2	2%	5,95 %	1,00	94,05	2,72	34,63	5,932	40,56	2,466
3	4%	5,95 %	1,00	94,05	2,72	34,63	5,929	40,557	2,466
4	6%	5,95 %	0,99	94,05	2,72	34,63	5,981	40,609	2,463
5	8%	5,95 %	0,99	94,05	2,72	34,63	6,033	40,661	2,459
6	10%	5,95 %	0,97	94,05	2,72	34,63	6,114	40,742	2,454

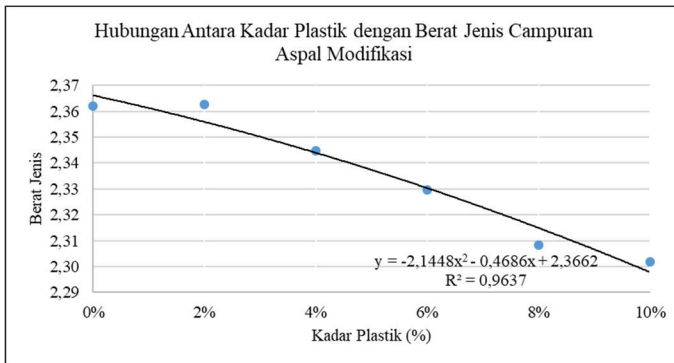
4.10. Hasil Analisis Parameter Pengujian *Marshall* Aspal Plastik

4.10.1. Density

Perhitungan *Density* campuran aspal plastik sama dengan perhitungan pada campuran aspal konvensional. Berikut adalah hasil pengujian yang telah dilakukan :

Tabel IV.48. Hasil Analisis Berat Jenis Campuran.

Kode Benda Uji	Kadar Plastik	Berat Kering (gr)	Berat SSD (gr)	Berat di Air (gr)	Berat Jenis Campuran (gr)
ZK-KAO-0	0%	1187,00	1194,10	691,53	2,362
ZK-KAO-2	2%	1188,00	1195,47	692,63	2,363
ZK-KAO-4	4%	1187,67	1198,50	691,97	2,345
ZK-KAO-6	6%	1183,00	1196,83	689,00	2,330
ZK-KAO-8	8%	1182,00	1197,70	685,63	2,308
ZK-KAO-10	10%	1187,00	1207,71	692,07	2,302



Gambar IV.30. Grafik Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Berat Jenis Campuran Aspal Modifikasi.

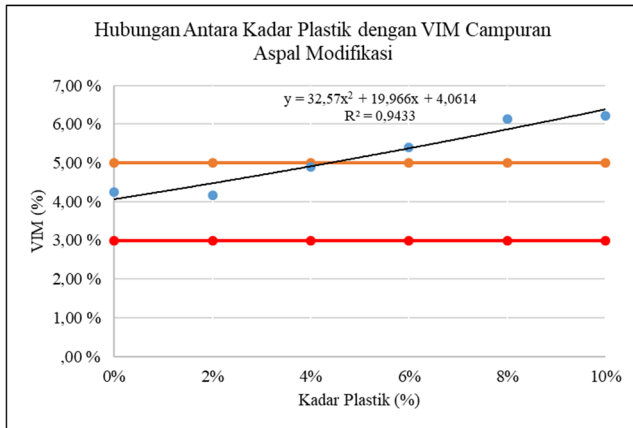
Density campuran cenderung semakin rendah seiring bertambahnya kadar plastik dari kadar aspal 0% hingga 10%. Hal ini dikarenakan berat jenis plastik lebih kecil dari berat jenis aspal, yaitu 0,94 gr/cc, sehingga berat jenis aspal setelah dicampurkan dengan plastik lebih rendah dari aspal konvensional. Berdasarkan grafik di atas, nilai *density* tertinggi adalah 2,363 gr/cc pada kadar plastik 2% dan nilai terendah adalah 2,302 gr/cc pada kadar plastik 10%. Hasil penelitian ini tidak sama dengan hasil penelitian terdahulu (Nobinur Rahman et al., 2013) yang memberikan hasil nilai *density* semakin naik seiring bertambahnya kadar plastik pada kadar plastik 0% - 10% lalu turun setelah mencapai titik puncak.

4.10.2. Void in mix (VIM)

Perhitungan VIM pada campuran aspal plastik sama dengan perhitungan VIM pada campuran aspal konvensional. VIM adalah volume total udara dalam suatu campuran aspal yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen. Berikut adalah hasil pengujian yang telah dilakukan :

Tabel IV.49. Hasil Analisis VIM Campuran

HASIL PERHITUNGAN VIM								
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Plastik	Vim Manual	Syarat Vim			Keterangan
					Min	-	Max	
1	ZK - KAO - 0	5,95%	0%	4,24 %	3	-	5	OK
2	ZK - KAO - 2	5,95%	2%	4,17 %	3	-	5	OK
3	ZK - KAO - 4	5,95%	4%	4,91 %	3	-	5	OK
4	ZK - KAO - 6	5,95%	6%	5,40 %	3	-	5	NOT OK
5	ZK - KAO - 8	5,95%	8%	6,14 %	3	-	5	NOT OK
6	ZK - KAO - 10	5,95%	10%	6,21 %	3	-	5	NOT OK



Gambar IV.31. Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VIM Campuran Aspal Modifikasi

Berdasarkan data tabel dan grafik di atas, nilai VIM cenderung semakin tinggi seiring dengan pertambahan kadar plastik. Hal ini menunjukkan bahwa rongga campuran terisi udara semakin tinggi seiring pertambahan kadar plastik, sehingga dapat menyebabkan *density* dari campuran menurun.

Nilai tertinggi VIM adalah 6,14% pada kadar plastik 10%, sedangkan nilai terendah 4,24% pada kadar plastik 0%. Benda yang memenuhi Spesifikasi Umum 2018 adalah benda uji dengan kadar plastik 0%, 2% dan 4%. Hasil penelitian penulis sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan (Pratomo et al., 2016) menyatakan bahwa nilai VIM semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kadar plastik.

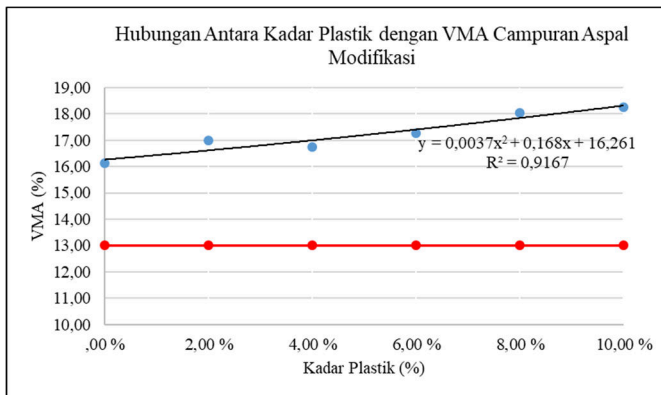
(Purnamasari & Suryaman, 2010) menyatakan bahwa VIM dibutuhkan sebagai ruang untuk agregat bergeser apabila dalam masa layannya menerima beban repetisi lalu lintas. Apabila nilai VIM terlalu tinggi, maka rongga dalam campuran semakin tinggi yang dapat memberi dampak penurunan kededapan air, sehingga memberikan akibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang akan mempercepat proses penuaan. Berdasarkan data VIM di atas, penambahan kadar plastik dapat meningkatkan nilai VIM yang nantinya berdampak pada kededapan air campuran yang semakin menurun. Dengan demikian, penambahan kadar aspal dapat menyebabkan campuran semakin mudah teroksidasi.

4.10.3. Void In Mineral Aggregate (VMA)

VMA merupakan persentase rongga dalam campuran yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif (tidak terserap agregat). VMA dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji. Berikut adalah hasil pengujian yang telah dilakukan :

Tabel IV.50. Hasil Analisis VMA Campuran

HASIL PERHITUNGAN VMA						
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Plastik	VMA	Syarat VMA	Keterangan
					MIN	
1	ZK - KAO - 0	5,95 %	,00 %	16,13	13,00	OK
2	ZK - KAO - 2	5,95 %	2,00 %	16,98	13,00	OK
3	ZK - KAO - 4	5,95 %	4,00 %	16,74	13,00	OK
4	ZK - KAO - 6	5,95 %	6,00 %	17,28	13,00	OK
5	ZK - KAO - 8	5,95 %	8,00 %	18,03	13,00	OK
6	ZK - KAO - 10	5,95 %	10,00 %	18,26	13,00	OK



Gambar IV.32. Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VMA Campuran Aspal Modifikasi

Berdasarkan data grafik dan tabel di atas, nilai VMA semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kadar plastik. Hal ini menandakan bahwa penambahan plastik pada aspal dapat meningkatkan rongga total campuran meningkat. Nilai VMA tertinggi adalah 18,26% pada kadar plastik 10% serta nilai VMA terendah adalah 16,13% pada kadar plastik 0%.

Semua benda uji memiliki nilai VMA yang sesuai dengan Spesifikasi Umum 2018.

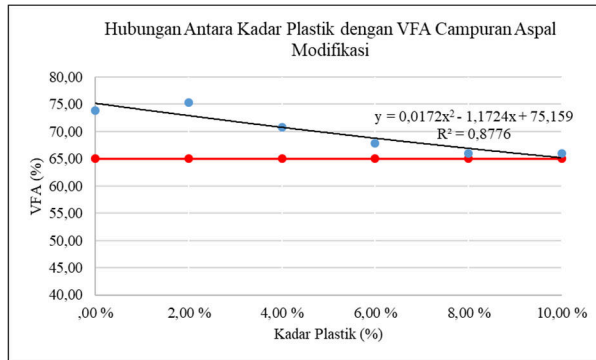
Hasil penelitian penulis sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Pratomo et al., 2016) yang memberikan hasil bahwa nilai VMA semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kadar plastik

4.10.4. Void Filled Asphalt (VFA)

VFA merupakan rongga di antara agregat dalam campuran yang terisi oleh aspal efektif, dinyatakan dalam persen. Berikut adalah hasil pengujian yang telah dilakukan :

Tabel IV.51. Hasil Analisis VFA Campuran

HASIL PERHITUNGAN VFA						
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Plastik	VFA	Syarat VFA	Keterangan
					Min	
1	ZK - KAO - 0	5,95 %	,00 %	73,84	65	OK
2	ZK - KAO - 2	5,95 %	2,00 %	75,26	65	OK
3	ZK - KAO - 4	5,95 %	4,00 %	70,72	65	OK
4	ZK - KAO - 6	5,95 %	6,00 %	67,77	65	OK
5	ZK - KAO - 8	5,95 %	8,00 %	66,01	65	OK
6	ZK - KAO - 10	5,95 %	10,00 %	65,98	65	OK



Gambar IV.33. Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VFA Campuran Aspal Modifikasi

Berdasarkan data grafik dan tabel di atas, nilai VFA semakin turun seiring dengan bertambahnya kadar plastik. Hal ini disebabkan pada saat pencampuran plastik tidak lumer sempurna, masih berbentuk serat yang juga ikut diselimuti aspal dan mengurangi jumlah aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam campuran. Nilai tertinggi VFA adalah 75,26% pada kadar plastik 2%, sedangkan nilai terendah 66,01% pada kadar plastik 8%. Semua benda uji memenuhi Spesifikasi Umum 2018.

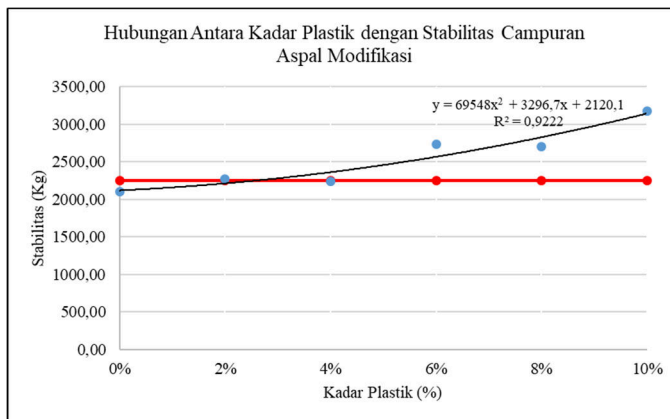
Hasil penelitian penulis sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Pratomo et al., 2016) yang menyatakan bahwa hasil nilai VFA semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kadar plastik.

4.10.5. Stabilitas

Berikut adalah hasil pengujian stabilitas campuran :

Tabel IV.52. Hasil Pengujian Stabilitas Campuran

No	Kode Benda Uji	Kadar Plastik	Stabilitas (kN)	Stabilitas (Kg)	Syarat Stabilitas (Min)	KETERANGAN
1	ZK - KAO - 0	0%	20,66	2107,11	2250,00	NOT OK
2	ZK - KAO - 2	2%	22,26	2268,98	2250,00	OK
3	ZK - KAO - 4	4%	21,98	2239,83	2250,00	NOT OK
4	ZK - KAO - 6	6%	26,87	2738,66	2250,00	OK
5	ZK - KAO - 8	8%	26,53	2703,60	2250,00	OK
6	ZK - KAO - 10	10%	31,218	3181,8	2250,00	OK



Gambar IV.34. Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi

Berdasarkan data grafik dan tabel di atas, nilai stabilitas campuran aspal plastik cenderung mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar plastik. Grafik tersebut jika ditarik regresi maka, terus mengalami kenaikan dari kadar plastik 0% hingga kadar plastik tertinggi yaitu 10%. Nilai tertinggi stabilitas adalah 3181,8 Kg pada kadar plastik 10% dan nilai terendah adalah 2107,11 Kg pada kadar plastik 0%. Benda uji yang memiliki nilai stabilitas memenuhi spesifikasi umum 2018 adalah 2, 6%, 8%, 10%.

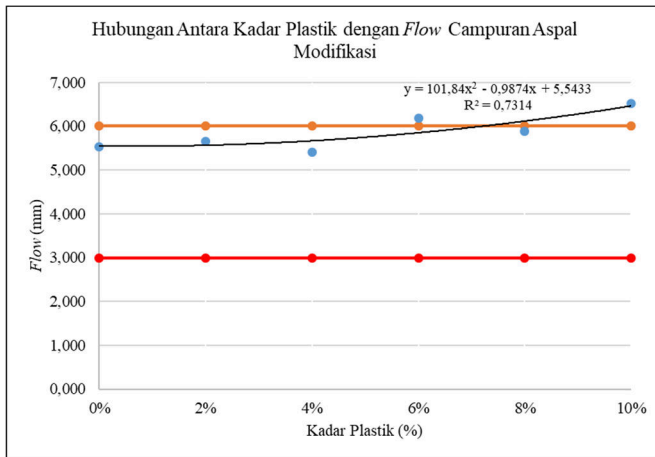
(Pratomo et al., 2016) Penambahan plastik pada campuran aspal dapat meningkatkan performa campuran aspal dalam segi stabilitas. Penelitian terdahulu memberikan hasil bahwa stabilitas campuran aspal plastik meningkat seiring dengan bertambahnya kadar plastik yang ditambahkan. Hal ini dikarenakan plastik membuat campuran aspal semakin keras, sehingga dapat meningkatkan stabilitas campuran beraspal. Hasil penelitian terdahulu sesuai dengan penelitian penulis.

4.10.6. Flow

Berikut adalah hasil pengujian flow campuran :

Tabel IV.53. Hasil Pengujian Flow Campuran

No	Kode Benda Uji	Kadar Plastik	Flow (Mm)	Syarat Flow (Mm)			Keterangan
				Min	-	Max	
1	ZK - KAO - 0	0%	5,530	3	-	6	OK
2	ZK - KAO - 2	2%	5,655	3	-	6	OK
3	ZK - KAO - 4	4%	5,415	3	-	6	OK
4	ZK - KAO - 6	6%	6,190	3	-	6	NOT OK
5	ZK - KAO - 8	8%	5,893	3	-	6	OK
6	ZK - KAO - 10	10%	6,520	3	-	6	NOT OK



Gambar IV.35. Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Flow Campuran Aspal Modifikasi

Berdasarkan data grafik dan tabel di atas, nilai flow campuran aspal plastik cenderung mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar plastik. Flow tertinggi adalah 6,52 mm pada kadar plastik 10% dan nilai terendah adalah 5,53 mm pada kadar plastik 0%. Semua benda uji memiliki nilai stabilitas yang memenuhi spesifikasi umum 2018.

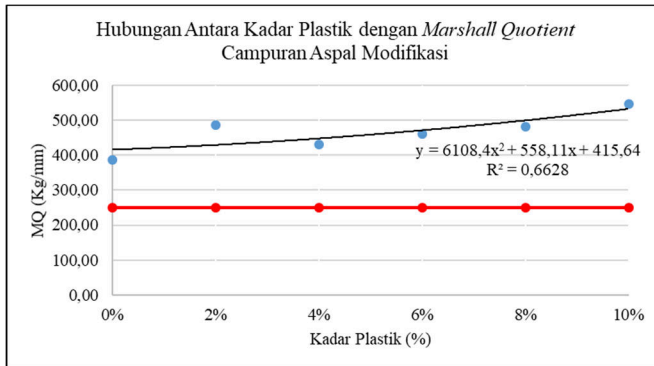
Berdasarkan penelitian (Pratomo et al., 2016) nilai *flow* mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar plastik lalu turun setelah nilai flow mencapai puncak. Penelitian tersebut menghasilkan berbeda dengan hasil penelitian penulis. *flow* berkaitan dengan rongga udara pada campuran aspal. Hal ini dikarenakan semakin rongga udara tinggi, maka campuran aspal lebih mudah retak saat di uji *marshall*.

4.10.7. Marshall Quotient (MQ)

Berikut adalah hasil pengujian MQ campuran :

Tabel IV.54. Hasil Analisis Pengujian MQ Campuran

No	Kode Benda Uji	Kadar Plastik	Marshall Quotient	Syarat MQ (Min)	Keterangan
1	ZK - KAO - 0	0%	387,16	250,00	OK
2	ZK - KAO - 2	2%	486,54	250,00	OK
3	ZK - KAO - 4	4%	431,77	250,00	OK
4	ZK - KAO - 6	6%	460,15	250,00	OK
5	ZK - KAO - 8	8%	482,57	250,00	OK
6	ZK - KAO - 10	10%	547,56	250,00	OK



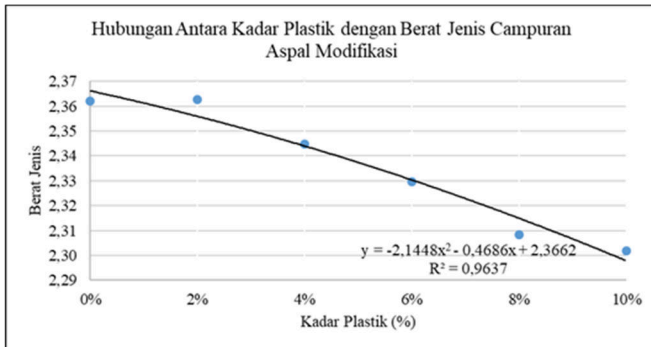
Gambar IV.36. Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Marshall Quotient Campuran Aspal Modifikasi.

Berdasarkan data grafik dan tabel di atas, nilai MQ campuran aspal plastik cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar plastik. Nilai MQ tertinggi adalah 547,56 Kg/mm pada kadar plastik 10% dan nilai terendah adalah 387,16 Kg/mm pada kadar plastik 0%. Semua benda uji memiliki nilai stabilitas yang memenuhi spesifikasi umum 2018.

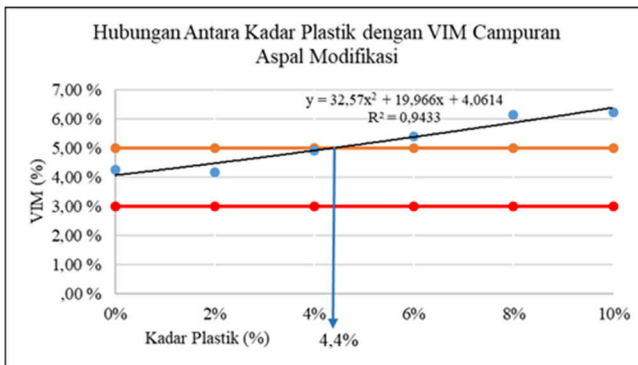
Berdasarkan hasil penelitian (Pratomo et al., 2016) nilai MQ mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar plastik yang ditambahkan. Hasil penelitian penulis sesuai dengan penelitian terdahulu. Bentuk grafik MQ cenderung naik seiring bertambahnya kadar plastik menyerupai grafik flow dan stabilitas. Hal ini menandakan bahwa semakin tinggi kadar plastik yang ditambahkan dalam campuran, maka campuran nilai kekakuan campuran semakin tinggi dan lebih getas.

4.11. Penentuan Kadar plastik optimum

Penentuan kadar plastik optimum ditentukan dari nilai stabilitas tertinggi dan parameter – parameter *marshall* yang paling banyak memiliki nilai sesuai dengan spesifikasi umum 2018. Cara yang dapat digunakan sama dengan penentuan kadar aspal optimum, yaitu menentukan terlebih dahulu titik potong antara grafik parameter *marshall* dengan batas atas atau batas bawah yang berpotongan. Langkah selanjutnya yaitu rekapitulasi dari setiap parameter yang telah dicek dalam bentuk tabel. Berikut adalah penentuan kadar plastik optimum.



Gambar IV.37. Grafik peninjauan Berat Jenis untuk penentuan Kadar Plastik Optimum.



Gambar IV.38. Grafik peninjauan VIM untuk penentuan Kadar Plastik Optimum.

Mencari titik potong antara batas atas dengan garis regresi VIM :

$$y = 32,57x^2 + 19,966x + 4,0614$$

$$5 = 32,57x^2 + 19,966x + 4,0614$$

$$0 = 32,57x^2 + 19,966x - 0,9386$$

$$X_1, X_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

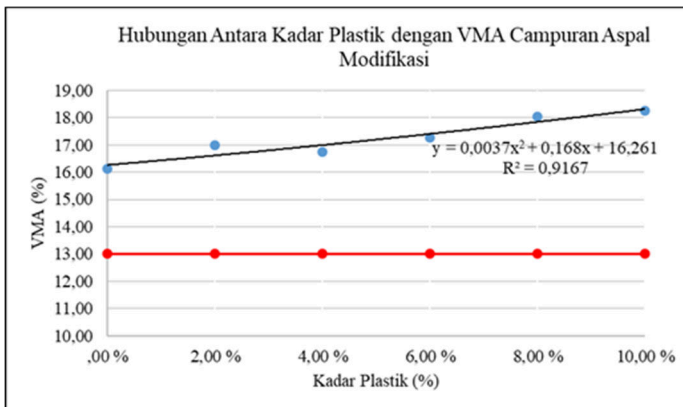
$$X_1 = \frac{-(19,966) + \sqrt{(19,966)^2 - 4(32,57)(-0,9386)}}{2(32,57)}$$

$X_1 = 0,0438$ (titik potong) atau 4,4% kadar plastik

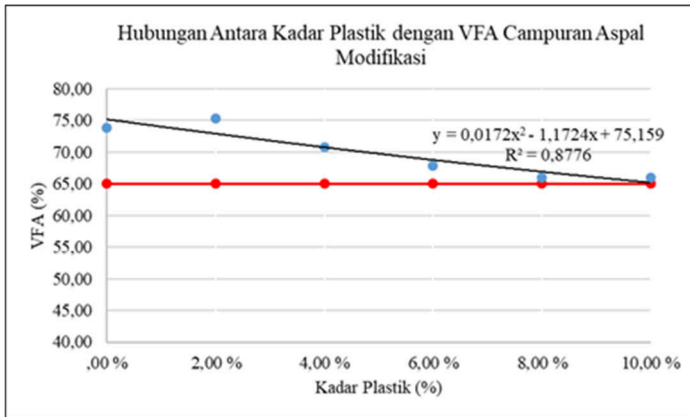
$$X_2 = \frac{-(19,966) - \sqrt{(19,966)^2 - 4(32,57)(-0,9386)}}{2(32,57)}$$

$X_2 = -0,656$

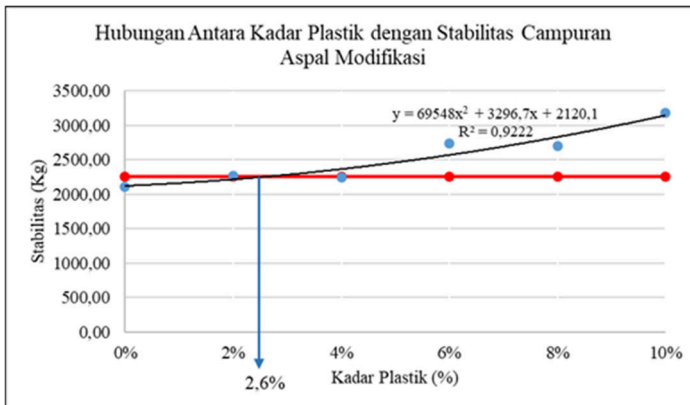
Didapatkan nilai titik potong yaitu pada kadar plastik 4,4%



Gambar IV.39. Grafik peninjauan VMA untuk penentuan Kadar Plastik Optimum.



Gambar IV.40. Grafik peninjauan VFA untuk penentuan Kadar Plastik Optimum.



Gambar IV.41. Grafik Peninjauan Stabilitas untuk Penentuan Kadar Plastik Optimum

Mencari titik potong antara batas atas dengan garis regresi stabilitas :

$$y = 69548x^2 + 3296,7x + 2120,1$$

$$2250 = 69548x^2 + 3296,7x + 2120,1$$

$$0 = 69548x^2 + 3296,7x - 129,9$$

$$X_1, X_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

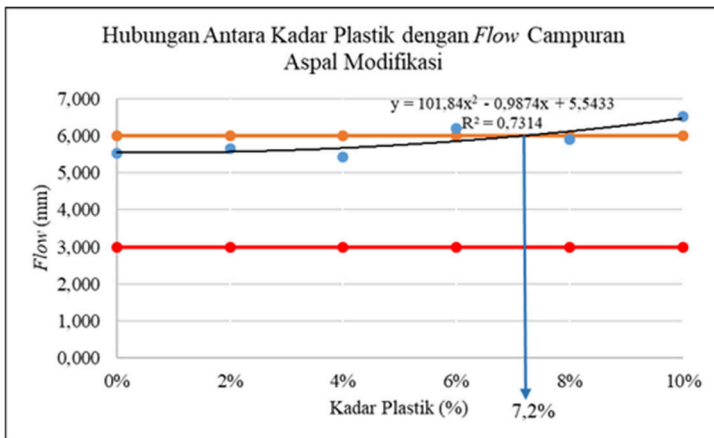
$$X_1 = \frac{-(3296,7) + \sqrt{(3296,7)^2 - 4(69548)(-129,9)}}{2(69548)}$$

$$X_1 = 0,0255 \text{ (titik potong) atau } 2,55\% \text{ kadar plastik}$$

$$X_2 = \frac{-(3296,7) - \sqrt{(3296,7)^2 - 4(69548)(-129,9)}}{2(69548)}$$

$$X_2 = -0,07299$$

Didapatkan nilai titik potong yaitu pada kadar plastik 2,55%



Gambar IV.42. Grafik Peninjauan Flow untuk Penentuan Kadar Plastik Optimum

Mencari titik potong antara batas atas dengan garis regresi flow :

$$y = 101,84(x)^2 - 0,9874(x) + 5,5433$$

$$6 = 101,84(x)^2 - 0,9874(x) + 5,5433$$

$$0 = 101,84(x)^2 - 0,9874(x) - 1,5433$$

$$X_1, X_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

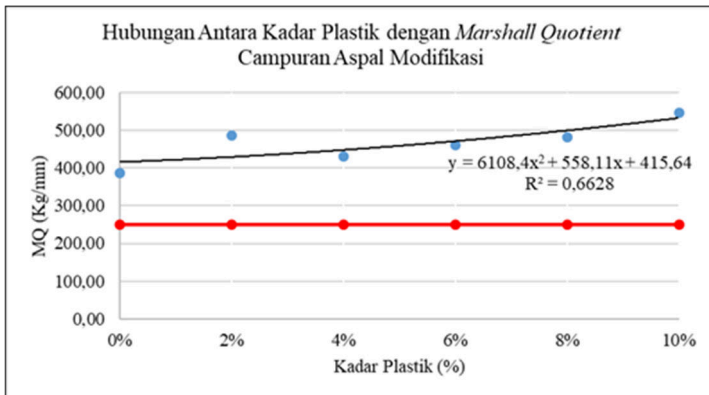
$$X_1 = \frac{-(-0,9874) + \sqrt{(-0,9874)^2 - 4(101,84)(-1,5433)}}{2(101,84)}$$

$$X_1 = 0,07198 \text{ (titik potong) atau } 7,2\% \text{ kadar plastik}$$

$$X_2 = \frac{-(-0,9874) - \sqrt{(-0,9874)^2 - 4(101,84)(-1,5433)}}{2(101,84)}$$

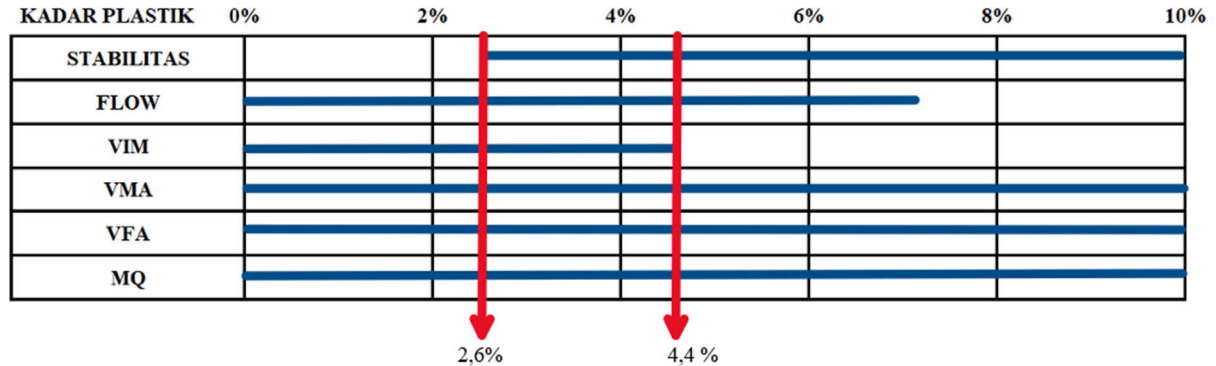
$$X_2 = -0,0622$$

Didapatkan nilai titik potong yaitu pada kadar plastik 7,2%



Gambar IV.43. Grafik Peninjauan Marshall Quotient untuk Penentuan Kadar Plastik Optimum

Tabel IV.55. Pengecekan Rekapitulasi Analisis Parameter Pengujian *Marshall* Aspal Plastik.



$$\begin{aligned} \text{Kadar Plastik Optimum} &= \frac{2,6+4,4\%}{2} \\ &= 3,5\% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengecekan di atas, nilai kadar plastik optimum adalah pada kadar plastik 3,5 %. Hal ini dikarenakan kadar plastik 3,5 % memiliki nilai – nilai parameter *marshall* yang memenuhi spesifikasi umum 2018

4.12. Parameter Marshall pada Kadar Plastik Optimum

Penentuan parameter marshall pada kadar plastik optimum dilakukan dengan memasukkan nilai kadar plastik optimum 3,5 % pada persamaan tiap parameter marshall. Berikut adalah perhitungan nilai parameter marshall :

Contoh Perhitungan :

Perhitungan *density* pada kadar plastik optimum :

$$y = -2,1448x^2 - 0,4686x + 2,3662$$

$$y = -2,1448.(0,035)^2 - 0,4686.(0,035) + 2,3662$$

$$y = 2,347$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan nilai *Density* pada kadar plastik optimum adalah 2,347 gr/cc

Tabel IV.56. Perhitungan Parameter Marshall pada Kadar Plastik Optimum

No	Parameter	Persamaan dari grafik	Kadar Plastik Optimum	Nilai pada Kadar Plastik Optimum
			x	y
1.	Density	$y = -2,1448 x^2 - 0,4686 x + 2,3662$	0,035	2,347 gr/cc
2.	VIM	$y = 32,57 x^2 + 19,966 x + 4,0614$	0,035	4,8 gr/cc
3.	VMA	$y = 0,0037 x^2 + 0,168 x + 16,261$	0,035	16,27%
4.	VFA	$y = 0,0172 x^2 - 1,1724 x + 75,159$	0,035	75,12%
5.	Stabilitas	$y = 69548 x^2 + 3296,7 x + 2120,1$	0,035	2320,68 Kg
6.	Flow	$y = 101,84 x^2 - 0,9874 x + 5,5433$	0,035	5,633 mm
7.	MQ	$y = 6108,4 x^2 + 558,11 x + 415,64$	0,035	442,66 Kg/mm

4.13. Karakteristik Aspal Modifikasi pada Kadar Plastik Optimum

Penentuan karakteristik aspal modifikasi pada kadar plastik optimum mirip dengan penentuan parameter marshall pada kadar plastik optimum, yaitu dengan memasukkan nilai kadar plastik optimum 3,5% pada persamaan tiap karakteristik aspal modifikasi.

Contoh perhitungan

Perhitungan berat jenis pada kadar plastik optimum :

$$y = -3,8664x^2 + 0,0665x + 1,0054$$

$$y = -3,8664.(0,035)^2 + 0,0665.(0,035) + 1,0054$$

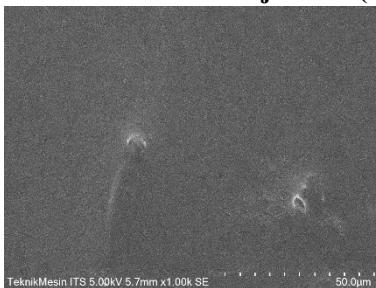
$$y = 1,00299 \text{ gr/cc}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan nilai berat jenis pada kadar plastik optimum adalah 1,00299 gr/cc

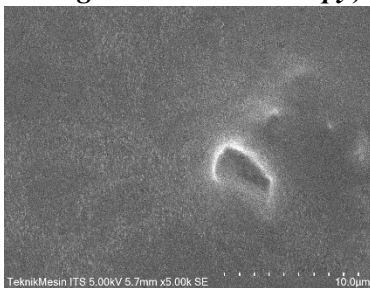
Tabel IV.57. Perhitungan Karakteristik Aspal Modifikasi pada kadar plastik optimum

No	Karakteristik Aspal Modifikasi	Persamaan dari grafik	Kadar Plastik Optimum	Nilai pada Kadar Plastik Optimum
			x	y
1	BERAT JENIS	$-3,8664x^2 + 0,0665x + 1,0054$	0,035	1,00299 gr/cc
2	TITIK LEMBEK	$-3895,1x^2 + 834,51x + 55,973$	0,035	80,409 °C
3	PENETRASI	$3747,2x^2 - 773,65x + 63,484$	0,035	40,996
4	TITIK NYALA	$312,5x^2 + 298,75x + 213,75$	0,035	224,589 °C
5	DAKTILITAS	$2098,2x^2 - 691,25x + 163,54$	0,035	141,916 cm
6	KEHILANGAN	$2,3868x^2 - 0,8258x + 0,0683$	0,035	0,04232 %

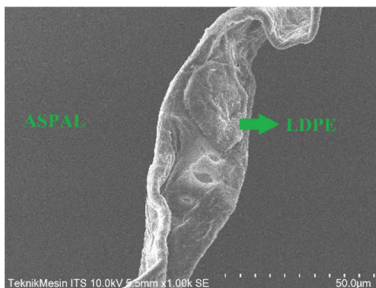
4.14. Hasil Analisa Uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*)



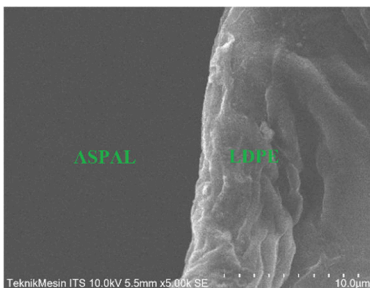
Gambar IV.44. Pengujian SEM Aspal Konvensional perbesaran 1000 kali.



Gambar IV.45. Pengujian SEM Aspal Konvensional perbesaran 5000 kali.



Gambar IV.46. Pengujian SEM aspal plastik perbesaran 1000 kali.



Gambar IV.47. Pengujian SEM aspal plastik perbesaran 5000 kali.

Pengujian SEM dilakukan pada suhu ruangan, yaitu 25 °C. Hasil pengujian SEM pada gambar aspal plastik perbesaran 1000 kali dapat dilihat bahwa material aspal dan material plastik tidak tercampur sempurna (hanya tercampur secara fisik). Peristiwa tidak tercampurnya plastik LDPE secara sempurna dengan aspal menyebabkan terjadinya penggumpalan plastik LDPE di dalam aspal. Plastik setelah tercampur dengan aspal pada suhu 155 °C nantinya akan dingin dan menggumpal serta mengeras, sehingga aspal modifikasi semakin getas. Hal ini dapat menyebabkan aspal modifikasi memiliki sifat fisik yang berbeda dengan aspal

konvensional, seperti nilai penetrasi dan daktilitas aspal modifikasi yang lebih rendah dibandingkan dengan aspal konvensional.

“Halaman Ini Sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan :

1. Rancangan proporsi campuran laston lapis pondasi pada kadar aspal optimum 5,95% dan kadar plastik optimum 3,5% adalah 1200 gr untuk berat sampel; 68,9 gram aspal; 2,5 gram plastik; 293 gram agregat 10 – 20; 169,29 gram agregat 10 – 10; 214,43 gram agregat 5 – 10; 451,44 gram agregat 0 – 5.
2. Karakteristik aspal setelah dicampurkan dengan LDPE adalah penetrasi 40,996; titik lembek 80,409 °C; titik nyala 224,589 °C; daktilitas 141,916 cm; kehilangan berat 0,0423%; berat jenis 1,0029 gr/cc.
3. Morfologi campuran antara aspal dengan limbah kantong plastik LDPE menunjukkan bahwa terjadi penggumpalan karena kedua material tidak tercampur secara sempurna. Hal tersebut dapat mempengaruhi nilai karakteristik aspal modifikasi.
4. Hasil analisa pengujian parameter *marshall* campuran aspal adalah stabilitas 2347 Kg; *flow* 5,63 mm; VIM 4,8%; VMA 16,27%; VFA 75,12%; *Marshall Quotient* 442,66 Kg/mm.

5.2. Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan memanfaatkan jenis limbah plastik lain sebagai material tambahan pada campuran beraspal, sehingga dapat mengurangi limbah plastik di Indonesia.

“Halaman Ini Sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2017). No Title. Retrieved from <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/820>
- Balitbang, & BBPJJN VII Surabaya. (2018). *Skala Penuh Teknologi Aspal Limbah Plastik* (Vol. 1). Surabaya.
- Billmeyer Jr, F. W. (1984). Radical chain (addition) polymerization. In *Textbook of polymer science*. [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(72\)90126-7](https://doi.org/10.1016/0032-3861(72)90126-7)
- CNBC. (2019). Sederet Fakta Soal Impor Aspal RI. Retrieved from <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190502172510-4-70156/sederet-fakta-soal-impor-aspal-ri-coba-resapi-nomor-3>
- Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah. (2002). *Buku 1 : Petunjuk Umum Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas*. Jakarta.
- Febrianto, N., Setyawan, A., & Sarwono, D. (2014). *Sifat-Sifat Marshall Pada Lapis Tipis Campuran Aspal Panas*. 748–754.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Desig (Section edition)*.
- ICSC 1488 - POLYETHYLENE. (2004). Retrieved January 3, 2020, from https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=en&p_card_id=1488&p_version=2
- Jambeck, J. R. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, (September 2014), 1655–1734. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.010>
- Karuniastuti, N. (2017). Bahaya Plastik. *Forum Teknologi*, 03(1), 6–14. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1128/CVI.00526-12>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan*.
- Nobinur Rahman, M., Ahmeduzzaman, M., A. Sobhan, M., & U.

- Ahmed, T. (2013). Performance Evaluation of Waste Polyethylene and PVC on Hot Asphalt Mixtures. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 1(5), 97–102. <https://doi.org/10.12691/ajcea-1-5-2>
- Pratomo, P., Hadi, A., & Diansari, S. (2016). Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik Low Linear Density Poly Ethylene (LLDPE) Ditinjau dari Karakteristik Marshall dan Uji Penetrasi pada Lapisan Aspal Beton (AC-BC). *Rekayasa*, 20(3), 155–166. Retrieved from <http://ft-sipil.unila.ac.id/ejournals/index.php/jrekayasa/article/download/243/337>
- Purnamasari, P. E., & Suryaman, F. (2010). Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston). *Konferensi Nasional Teknik Sipil 4 (KoNTekS 4)*, 4(KoNTekS 4), 2–3.
- Pusjatan. (2016). Uji Gelar Teknologi Aspal Plastik di Pasuruan. Retrieved from <http://www.pusjatan.pu.go.id/berita/detail/uji-gelar-teknologi-aspal-plastik-di-pasuruan>
- Pustran - Balitbang PU. (1991). *Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall SNI 06-2489-1991*. (1), 7.
- Richard Kim, Y. (2008). *Modelling of Asphalt Concrete* (1, Ed.). McGraw-Hill Professional.
- Roberts, F. L., Kandahal, P. S., Brown, R. E., Lee, D.-Y., & Kennedy, T. W. (1996). *Hot-Mix-Asphalt-Material-Mixture-Design-and-Construction-Edn.Pdf* (pp. 17, 18,). pp. 17, 18,.
- Sadeque, M., & Patil, K. A. (2013). Rheological Properties of Recycled Low Density Polyethylene and Polypropylene Modified Bitumen. *International Journal of Advanced Technology in Civil Engineering*, 2(2), 24–26.
- Sarengat, N. (2011). Plastik ramah lingkungan (photodegradasi) dari kopolimerisasi tempel LDPE/tapioka dengan maleat anhidrat. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 27(1), 31. <https://doi.org/10.20543/mkpk.v27i1.210>
- Suroso, T. wasiah. (2008). *Pengaruh Penambahan Plastik*

- Ldpe(Low Density Poly Ethilen) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal.* (3), 208–222.
- Vuri. (2017). Studi Sifat Fisis, Kimia, dan Morfologi Pada Kemasan Makanan Berbahan Syrofoam dan LDPE (Low Density Polyethylene). *Mechanical*, 8(1), 39–45.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Granit.

“Halaman Ini Sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Nama penulis M. Fahrizal Zaki Mubarak dan dilahirkan di Probolinggo, 12 Juli 1998, anak dari pasangan Khoirul Maghfiroh dan Moh. Jakfar. Penulis menempuh pendidikan formal yaitu MI Miftahul Ulum, SMP Insan Terpadu Paiton, MA Amanatul Ummah Pacet. Semasa sekolah, penulis menggemari mata pelajaran fisika dan matematika. Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Departemen Teknik Infrastruktur Sipil melalui jalur ujian tulis

SMITS reguler pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 10111510000047. Di Departemen Teknik Insfrastruktur Sipil penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Gedung. Penulis sempat mengikuti magang kerja di PT. Manajemen Konstruksi Utama sebagai *Quality Control* dalam proyek pembangunan Gedung Apartemen Amega Crown Residence di Waru, Sidoarjo. Penulis memiliki kegemaran dalam bidang teknologi, khususnya dalam dunia perakitan PC. Penulis mengambil judul tugas akhir di bidang penelitian aspal. Penulis bias dihubungi via email fahrizalzaki96@gmail.com

“Halaman Ini Sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Proses pembuatan benda uji



Gambar 1.a.
Memanaskan aspal
agar encer (Tahap 1)



Gambar 1.b.
Menimbang berat
aspal sesuai jobmix
formula (Tahap 2)



Gambar 1.c.
Memanaskan aspal
hingga suhu 155 °C
sebelum
dicampurkan dengan
agregat (Tahap 3)



Gambar 1.d.
Memanaskan agregat
sebelum
dicampurkan ke
aspal (Tahap 4)



Gambar 1.e.
Mencampurkan
agregat dengan aspal
dalam kondisi panas
(Tahap 5)



Gambar 1.f. merojok
campuran dalam
kondisi panas
(Tahap 6)



Gambar 1.g.
Memadatkan
campuran dengan
alat compactor
(Tahap 7)

Lampiran 2. Logbook Penelitian

MINGGU 9		
No.	Tanggal	Kegiatan
1	Senin, 21 Oktober 2019	-
2	Selasa, 22 Oktober 2019	Seminar Proposal
3	Rabu, 23 Oktober 2019	Istirahat setelah seminar proposal
4	Kamis, 24 Oktober 2019	Membeli material agregat dan aspal
5	Jumat, 25 Oktober 2019	Asistensi revisi
6	Sabtu, 26 Oktober 2019	-
7	Minggu, 27 Oktober 2019	-

MINGGU 10		
No.	Tanggal	Kegiatan
1	Senin, 28 Oktober 2019	-
2	Selasa, 29 Oktober 2019	-
3	Rabu, 30 Oktober 2019	-
4	Kamis, 31 Oktober 2019	-
5	Jumat, 1 November 2019	Mempersiapkan, mencuci, dan menggoreng agregat.
6	Sabtu, 2 November 2019	Analisa Saringan agregat 10 - 10 dan 10 - 20
7	Minggu, 3 November 2019	Analisa Saringan agregat 5 - 10 dan 0 - 5
MINGGU 11		
No.	Tanggal	Kegiatan
1	Senin, 4 November 2019	Berat Jenis Agregat Halus
2	Selasa, 5 November 2019	Berat Jenis Agregat Kasar; Blending Agregat
3	Rabu, 6 November 2019	Blending Agregat
4	Kamis, 7 November 2019	-
5	Jumat, 8 November 2019	Hasil berat jenis agregat kasar ; Uji Karakteristik Aspal
6	Sabtu, 9 November 2019	Uji Karakteristik Aspal
7	Minggu, 10 November 2019	Uji Karakteristik Aspal

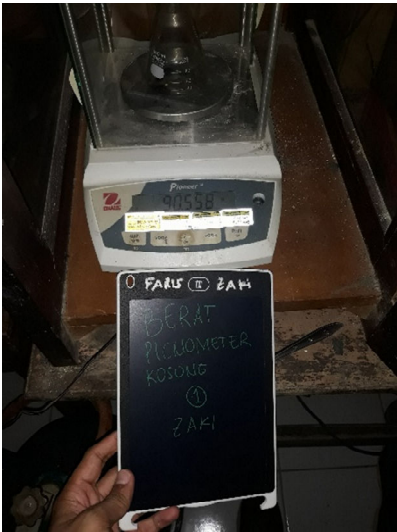
MINGGU 12		
No.	Tanggal	Kegiatan
1	Senin, 11 November 2019	Jobmix formula
2	Selasa, 12 November 2019	Jobmix Formula
3	Rabu, 13 November 2019	Jobmix formula
4	Kamis, 14 November 2019	Asistensi Blending Agregat
5	Jumat, 15 November 2019	Mengayak agregat per saringan untuk stok
6	Sabtu, 16 November 2019	Mengayak agregat per saringan untuk stok
7	Minggu, 17 November 2019	menyiapkan material untuk pembuatan sampel (25 kantong)
MINGGU 13		
No.	Tanggal	Kegiatan
1	Senin, 18 November 2019	Pembuatan 5 benda uji
2	Selasa, 19 November 2019	Pembuatan 10 benda uji
3	Rabu, 20 November 2019	Pembuatan 10 benda uji
4	Kamis, 21 November 2019	Mempersiapkan perhitungan parameter marshall
5	Jumat, 22 November 2019	Mempersiapkan perhitungan parameter marshall
6	Sabtu, 23 November 2019	Mempersiapkan perhitungan parameter marshall
7	Minggu, 24 November 2019	Mempersiapkan perhitungan parameter marshall

MINGGU 14		
No.	Tanggal	Kegiatan
1	Senin, 25 November 2019	Mempersiapkan perhitungan parameter marshall
2	Selasa, 26 November 2019	Mempersiapkan perhitungan
3	Rabu, 27 November 2019	Mempersiapkan data - data marshall
4	Kamis, 28 November 2019	Uji Marshall 25 sampel
5	Jumat, 29 November 2019	pengolahan data hasil uji marshall
6	Sabtu, 30 November 2019	Penentuan Kadar Aspal Optimum
7	Minggu, 1 Desember 2019	Mencari Plastik kresek sekitar kampus; mencacah dan menimbang kresek
MINGGU 15		
No.	Tanggal	Kegiatan
1	Senin, 2 Desember 2019	Perhitungan penentuan KAO
2	Selasa, 3 Desember 2019	Perhitungan penentuan KAO
3	Rabu, 4 Desember 2019	Perhitungan penentuan KAO
4	Kamis, 5 Desember 2019	Perhitungan penentuan KAO
5	Jumat, 6 Desember 2019	Perhitungan penentuan KAO
6	Sabtu, 7 Desember 2019	Perhitungan penentuan KAO
7	Minggu, 8 Desember 2019	Perhitungan penentuan KAO

MINGGU 16		
No.	Tanggal	Kegiatan
1	Senin, 9 Desember 2019	Asistensi hasil pengujian marshall aspal tanpa plastik
2	Selasa, 10 Desember 2019	Perhitungan penentuan KAO
3	Rabu, 11 Desember 2019	Perhitungan penentuan KAO
4	Kamis, 12 Desember 2019	Asistensi untuk KAO yang telah didapatkan
5	Jumat, 13 Desember 2019	menyiapkan material untuk pembuatan sampel (25 kantong)
6	Sabtu, 14 Desember 2019	Pembuatan Laporan Tugas Akhir
7	Minggu, 15 Desember 2019	Pembuatan Laporan Tugas Akhir
MINGGU 17		
No.	Tanggal	Kegiatan
1	Senin, 16 Desember 2019	Pembuatan benda uji 10
2	Selasa, 17 Desember 2019	Pembuatan benda uji 10
3	Rabu, 18 Desember 2019	Pembuatan benda uji 10
4	Kamis, 19 Desember 2019	Asistensi hasil pengujian karakteristik dan marshall aspal
5	Jumat, 20 Desember 2019	Uji karakteristik aspal - plastik
6	Sabtu, 21 Desember 2019	Uji karakteristik aspal - plastik
7	Minggu, 22 Desember 2019	Uji karakteristik aspal - plastik
MINGGU 18		
No.	Tanggal	Kegiatan
1	Senin, 23 Desember 2019	Perhitungan hasil uji karakteristik aspal - plastik
2	Selasa, 24 Desember 2019	Pembuatan Laporan Tugas Akhir
3	Rabu, 25 Desember 2019	Pembuatan Laporan Tugas Akhir
4	Kamis, 26 Desember 2019	Pembuatan Laporan Tugas Akhir
5	Jumat, 27 Desember 2019	Uji Marshall 25 sampel
6	Sabtu, 28 Desember 2019	pengolahan data hasil uji
7	Minggu, 29 Desember 2019	pengolahan data hasil uji

MINGGU 19		
No.	Tanggal	Kegiatan
1	Senin, 30 Desember 2019	pengolahan data hasil uji marshal
2	Selasa, 31 Desember 2019	pengolahan data hasil uji
3	Rabu, 1 Januari 2020	Perhitungan Kadar Plastik Optimum
4	Kamis, 2 Januari 2020	Pembuatan Laporan Tugas Akhir
5	Jumat, 3 Januari 2020	Pembuatan Laporan Tugas Akhir
6	Sabtu, 4 Januari 2020	Pembuatan Laporan Tugas Akhir
7	Minggu, 5 Januari 2020	Pembuatan Laporan Tugas Akhir

MINGGU 19		
No.	Tanggal	Kegiatan
1	Senin, 30 Desember 2019	pengolahan data hasil uji marshal
2	Selasa, 31 Desember 2019	pengolahan data hasil uji
3	Rabu, 1 Januari 2020	Perhitungan Kadar Plastik Optimum
4	Kamis, 2 Januari 2020	Pembuatan Laporan Tugas Akhir
5	Jumat, 3 Januari 2020	Pembuatan Laporan Tugas Akhir
6	Sabtu, 4 Januari 2020	Pembuatan Laporan Tugas Akhir
7	Minggu, 5 Januari 2020	Pembuatan Laporan Tugas Akhir

Lampiran 3. Dokumentasi Pengujian Aspal

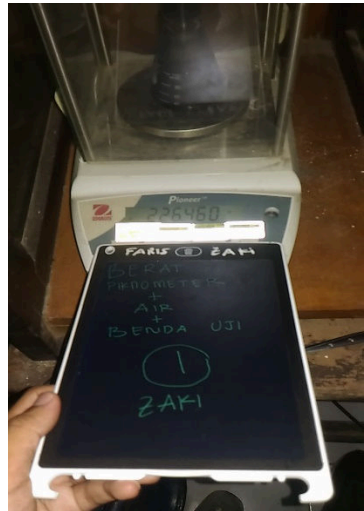
Gambar 2.a. Berat Piknometer Kosong (berat jenis aspal)



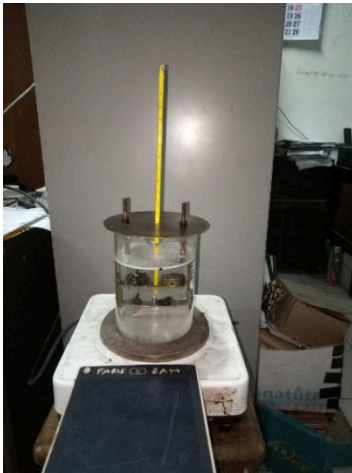
Gambar 2.b. Berat Piknometer + Air (berat jenis aspal)



Gambar 2.c. Berat Pignometer + Benda Uji Aspal (berat jenis aspal)



Gambar 2.d. Berat Pignometer + Air + Benda Uji (berat jenis aspal)



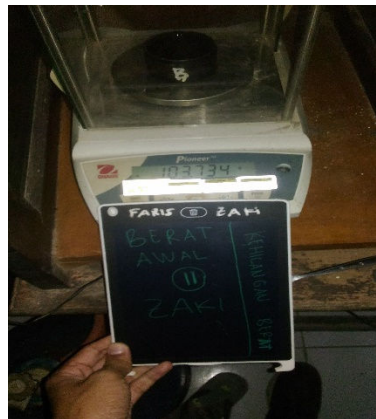
Gambar 3.a. Pengujian Titik Lembek Aspal + 2% Plastik



Gambar 4.a. Pengujian Kehilangan Berat (Berat Awal Sampel 1)



Gambar 4.b. Pengujian Kehilangan Berat (Berat Setelah dioven Sampel 1)



Gambar 4.c. Pengujian Kehilangan Berat (Berat Awal Sampel 2)



Gambar 4.d. Pengujian Kehilangan Berat (Berat Setelah dioven Sampel 2)



Gambar 5.a. Pengujian Titik Nyala Aspal



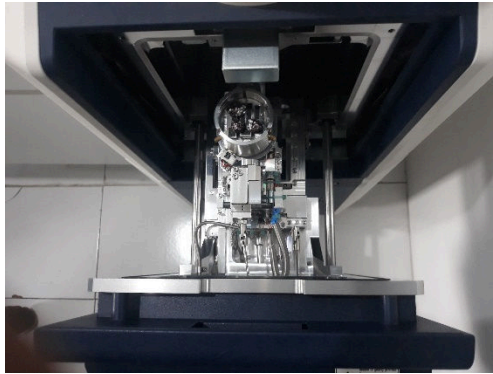
Gambar 6.a. Penetrasi Sampel 1



Gambar 6.b. Penetrasi Sampel 2



Gambar 6.c. Penetrasi Sampel 3



Gambar 7.a. Pengujian SEM aspal plastik LDPE di Teknik Mesin ITS.

Lampiran 4. Dokumentasi Pengujian Agregat



Gambar 8.a. Pelaksanaan Pengujian Abrasi



Gambar 8.b. Berat Agregat Tertahan Saringan 3/8 (Pengujian Abrasi)



Gambar 8.c. Berat Setelah Pengujian Abrasi



Gambar 8.d. Berat Agregat Tertahan Saringan 1/2 (Pengujian Abrasi)



Gambar 9.a. Berat Piknometer + Air + Agregat Halus (Pengujian Berat Jenis Agregat Halus)



Gambar 9.b. Piknometer + Air (Pengujian Berat Jenis Agregat Halus)



Gambar 10.a. Berat di Dalam Air Agregat 10 - 20 (Pengujian Berat Jenis Agregat)



Gambar 10.b. Berat Kering Agregat 10 - 20 (Pengujian Berat Jenis Agregat)



Gambar 10.c. Berat SSD Agregat 10 - 20 (Pengujian Berat Jenis Agregat)

Lampiran 5. Dokumentasi Pembuatan Campuran



Gambar 11.a. Penggorengan Agregat Agar Panas



Gambar 11.b. Pencampuran Agregat dan Aspal yang Telah Dipanaskan



Gambar 11.c. Berat Kering Sampel



Gambar 11.d. Berat di Dalam Air



Gambar 11.e. Berat SSD Sampel

Lampiran 6. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat dan Penyerapan

AGREGAT 0 - 5			
Pengujian	uji 1	uji 2	rata2
Benda uji direndam dalam air selama	3 hari	3 hari	3 hari
Berat benda uji kering permukaan Jenuh (SSD)	500 gr	502 gr	501 gr
Berat piknometer + air (25 ^o C) (B)	654 gr	652 gr	653 gr
Berat piknometer + air (25oC) (Bt) + benda uji SSD	967 gr	965 gr	966 gr
Berat benda uji kering setelah dioven (Bk)	486 gr	487 gr	487 gr
Berat Jenis Curah Agregat 0 - 5			
$\text{Bj Curah} = \frac{\text{Bk}}{\text{B} + \text{SSD} - \text{Bt}} = \frac{487 \text{ gr}}{653 \text{ gr} + 501 \text{ gr} - 966 \text{ gr}} = 2,588$			
Berat Jenis SSD Agregat 0 - 5			
$\text{Bj SSD} = \frac{\text{SSD}}{\text{B} + \text{SSD} - \text{Bt}} = \frac{501 \text{ gr}}{653 \text{ gr} + 501 \text{ gr} - 966 \text{ gr}} = 2,665$			
Berat Jenis Semu Agregat 0 - 5			
$\text{Bj Semu} = \frac{\text{Bk}}{\text{B} + \text{Bk} - \text{Bt}} = \frac{487 \text{ gr}}{653 \text{ gr} + 487 \text{ gr} - 966 \text{ gr}} = 2,804$			
Penyerapan Air Agregat 0 - 5			
$\text{Penyerapan} = \frac{(\text{SSD} - \text{Bk}) \times 100\%}{\text{Bk}} = \frac{(501 \text{ gr} - 487 \text{ gr})}{487 \text{ gr}} \times 100\% = 2,980$			

AGREGAT 10 - 20				
Pengujian	uji 1	uji 2	uji 3	rata2
Benda uji direndam dalam air selama	3 hari	3 hari	3 hari	3 hari
Berat benda uji kering permukaan (Bj) jenuh	2004 gr	2016 gr	2018 gr	2013 gr
Berat benda uji dalam air (Ba)	1266 gr	1270 gr	1276 gr	1271 gr
Berat benda uji kering tertahan saringan No.4 setelah dioven	2002 gr	2000 gr	2000 gr	2001 gr
Berat Jenis Curah Agregat 10 - 20				
$Bj \text{ Curah} = \frac{Bk}{Bj - Ba} = \frac{2001 \text{ gr}}{2013 \text{ gr} - 1271 \text{ gr}}$ $= 2,696 \text{ gr}$				
Berat Jenis SSD Agregat 10 - 20				
$Bj \text{ SSD} = \frac{Bj}{Bj - Ba} = \frac{2013 \text{ gr}}{2013 \text{ gr} - 1271 \text{ gr}}$ $= 2,712 \text{ gr}$				
Berat Jenis Semu Agregat 10 - 20				
$Bj \text{ Semu} = \frac{Bk}{Bk - Ba} = \frac{2001 \text{ gr}}{2001 \text{ gr} - 1271 \text{ gr}}$ $= 2,741 \text{ gr}$				
Penyerapan Air Agregat 10 - 20				
$\text{Penyerapan} = \frac{(Bj - Bk) \times 100\%}{Bk} = \frac{(2013 \text{ gr} - 2001 \text{ gr}) \times 100\%}{2001 \text{ gr}}$ $= 0,600 \%$				

AGREGAT 10 - 10				
Pengujian	uji 1	uji 2	uji 3	rata2
Benda uji direndam dalam air selama	3 hari	3 hari	3 hari	3 hari
Berat benda uji kering permukaan Jenuh (Bj)	2032 gr	2010 gr	2028 gr	2023 gr
Berat benda uji dalam air (Ba)	1280 gr	1269 gr	1296 gr	1282 gr
Berat benda uji kering tertahan saringan No.4 setelah dioven (Bk)	2000 gr	2000 gr	2000 gr	2000 gr
Berat Jenis Curah				
$Bj \text{ Curah} = \frac{Bk}{Bj - Ba} = \frac{2000 \text{ gr}}{2023 \text{ gr} - 1282 \text{ gr}}$ $= 2,697 \text{ gr}$				
Berat Jenis SSD				
$Bj \text{ SSD} = \frac{Bj}{Bj - Ba} = \frac{2023 \text{ gr}}{2023 \text{ gr} - 1282 \text{ gr}}$ $= 2,729 \text{ gr}$				
Berat Jenis Semu				
$Bj \text{ Semu} = \frac{Bk}{Bk - Ba} = \frac{2000 \text{ gr}}{2000 \text{ gr} - 1282 \text{ gr}}$ $= 2,785 \text{ gr}$				
Penyerapan Air				
$\text{Penyerapan} = \frac{(Bj - Bk) \times 100\%}{Bk} = \frac{(2023 \text{ gr} - 2000 \text{ gr}) \times 100\%}{2000 \text{ gr}}$ $= 1,167 \%$				

AGREGAT 5 - 10				
Pengujian	uji 1	uji 2	uji 3	rata2
Benda uji direndam dalam air selama	3 hari	3 hari	3 hari	3 hari
Berat benda uji kering permukaan (Bj) jenuh	2032 gr	2036 gr	2024 gr	2031 gr
Berat benda uji dalam air (Ba)	1282 gr	1286 gr	1284 gr	1284 gr
Berat benda uji kering tertahan saringan No.4 setelah dioven	2000 gr	2000 gr	2000 gr	2000 gr
Berat Jenis Curah Agregat 5 - 10				
$Bj \text{ Curah} = \frac{Bk}{Bj - Ba} = \frac{2000 \text{ gr}}{2031 \text{ gr} - 1284 \text{ gr}} = 2,679 \text{ gr}$				
Berat Jenis SSD Agregat 5 - 10				
$Bj \text{ SSD} = \frac{Bj}{Bj - Ba} = \frac{2031 \text{ gr}}{2031 \text{ gr} - 1284 \text{ gr}} = 2,720 \text{ gr}$				
Berat Jenis Semu Agregat 5 - 10				
$Bj \text{ Semu} = \frac{Bk}{Bk - Ba} = \frac{2000 \text{ gr}}{2000 \text{ gr} - 1284 \text{ gr}} = 2,793 \text{ gr}$				
Penyerapan Air Agregat 5 - 10				
$\text{Penyerapan} = \frac{(Bj - Bk) \times 100\%}{Bk} = \frac{(2031 \text{ gr} - 2000 \text{ gr})}{2000 \text{ gr}} \times 100\% = 1,533 \%$				

Lampiran 7. Pengujian Berat Jenis Aspal

KAO + KADAR PLASTIK 0%			
No	Pengujian berat jenis aspal	percobaan 1 (gr)	percobaan 2 (gr)
1	berat piknometer (1)	90,56	87,74
2	berat piknometer + air (2)	225,31	221,08
3	berat piknometer + air + aspal (3)	226,46	220,13
4	berat piknometer + aspal (4)	121,62	123,22
5	berat isi piknometer (5)(2 - 1)	134,75	133,34
6	berat aspal (6)(4 - 1)	31,07	35,48
7	berat air (7)(3 - 4)	104,84	96,91
	berat jenis aspal	1,04	0,97
	rata - rata berat jenis aspal	1,01	
KAO + KADAR PLASTIK 2%			
	Pengujian berat jenis aspal	percobaan 1 (gr)	percobaan 2 (gr)
	berat piknometer (1)	89,25	88,95
	berat piknometer + air (2)	224,14	223,07
	berat piknometer + air + aspal (3)	223,99	223,40
	berat piknometer + aspal (4)	109,11	112,86
	berat isi piknometer (5)(2 - 1)	134,89	134,12
	berat aspal (6)(4 - 1)	19,86	23,91
	berat air (7)(3 - 4)	114,88	110,54
	berat jenis aspal	0,99	1,01
	rata - rata berat jenis aspal	1,003110	
KAO + KADAR PLASTIK 4%			
	Pengujian berat jenis aspal	percobaan 1 (gr)	percobaan 2 (gr)
	berat piknometer (1)	89,27	88,94
	berat piknometer + air (2)	225,78	221,63
	berat piknometer + air + aspal (3)	226,01	221,60
	berat piknometer + aspal (4)	117,00	109,01
	berat isi piknometer (5)(2 - 1)	136,51	132,69
	berat aspal (6)(4 - 1)	27,73	20,07
	berat air (7)(3 - 4)	109,01	112,60
	berat jenis aspal	1,01	1,00
	rata - rata berat jenis aspal	1,0036166	

KAO + KADAR PLASTIK 6%		
Pengujian berat jenis aspal	percobaan 1 (gr)	percobaan 2 (gr)
berat piknometer (1)	89,26	88,91
berat piknometer + air (2)	224,15	220,03
berat piknometer + air + aspal (3)	224,22	219,79
berat piknometer + aspal (4)	114,74	106,90
berat isi piknometer (5)(2 - 1)	134,89	131,12
berat aspal (6)(4 - 1)	25,47	17,99
berat air (7)(3 - 4)	109,48	112,90
berat jenis aspal	1,00	0,99
rata - rata berat jenis aspal	0,994878	
KAO + KADAR PLASTIK 8%		
Pengujian berat jenis aspal	percobaan 1 (gr)	percobaan 2 (gr)
berat piknometer (1)	89,27	88,75
berat piknometer + air (2)	224,10	219,98
berat piknometer + air + aspal (3)	223,61	219,20
berat piknometer + aspal (4)	141,03	131,40
berat isi piknometer (5)(2 - 1)	134,83	131,23
berat aspal (6)(4 - 1)	51,77	42,65
berat air (7)(3 - 4)	82,58	87,80
berat jenis aspal	0,99	0,98
rata - rata berat jenis aspal	0,98624	
KAO + KADAR PLASTIK 10%		
Pengujian berat jenis aspal	percobaan 1 (gr)	percobaan 2 (gr)
berat piknometer (1)	89,29	88,93
berat piknometer + air (2)	224,23	220,11
berat piknometer + air + aspal (3)	223,76	219,35
berat piknometer + aspal (4)	116,71	108,74
berat isi piknometer (5)(2 - 1)	134,94	131,17
berat aspal (6)(4 - 1)	27,43	19,81
berat air (7)(3 - 4)	107,05	110,61
berat jenis aspal	0,98	0,96
rata - rata berat jenis aspal	0,97320	

Lampiran 8. Pengujian Titik Lembek

KAO + Kadar Plastik 0%		
	suhu kiri °C	suhu kanan °C
percobaan 1	56	55
percobaan 2	56	56
suhu rata - rata	55,75	
KAO + Kadar Plastik 2%		
	suhu kiri °C	suhu kanan °C
percobaan 1	84	57
percobaan 2	85	67
suhu rata - rata	73,25	
KAO + Kadar Plastik 4%		
	suhu kiri °C	suhu kanan °C
percobaan 1	60	81
percobaan 2	85	88
suhu rata - rata	78,5	

KAO + Kadar Plastik 6%		
	suhu kiri °C	suhu kanan °C
percobaan 1	95	95
percobaan 2	94	97
suhu rata - rata	95,25	
KAO + Kadar Plastik 8%		
	suhu kiri °C	suhu kanan °C
percobaan 1	97	97
percobaan 2	99	98
suhu rata - rata	97,75	
KAO + Kadar Plastik 10%		
	suhu kiri °C	suhu kanan °C
percobaan 1	100	100
percobaan 2	100	100
suhu rata - rata	100	

Lampiran 9. Pengujian Penetrasi

Penambahan 0% LDPE		
No	percobaan	percobaan
	1	2
1	55	65
2	56	62
3	61	63
4	55	64
5	59	61
6	65	60
7	65	70
8	63	59
rata - rata	59,88	63
rata - rata semua	61,44	

Penambahan 4% LDPE		
No	percobaan	percobaan
	1	2
1	35	38
2	25	35
3	15	35
4	29	31
5	37	30
6	34	35
7	39	39
8	34	39
rata - rata	31,00	35,25
rata - rata semua	33,13	

Penambahan 2% LDPE		
No	percobaan	percobaan
	1	2
1	50	59
2	58	59
3	50	67
4	51	59
5	50	57
6	53	58
7	49	60
8	54	55
rata - rata	51,88	59,25
rata - rata semua	55,56	

Penambahan 6% LDPE		
No	percobaan	percobaan
	1	2
1	33,00	35,00
2	23,00	33,00
3	14,00	33,00
4	27,00	29,00
5	35,00	28,00
6	32,00	33,00
7	36,00	36,00
8	32,00	36,00
rata - rata	29,00	32,875
rata - rata semua	30,94	

Penambahan 8% LDPE		
No	percobaan 1	percobaan 2
1	29	31
2	20	29
3	12	29
4	24	25
5	31	25
6	28	29
7	32	32
8	28	29
rata - rata	25,50	28,625
rata - rata semua	27,06	

Penambahan 10% LDPE		
No	percobaan 1	percobaan 2
1	25	25
2	17	25
3	10	25
4	21	22
5	24	22
6	24	25
7	28	28
8	24	25
rata - rata	21,63	24,625
rata - rata semua	23,13	

Lampiran 10. Pengujian Kehilangan Berat

KAO + Kadar Plastik 0%				
No	pengujian	percobaan 1	percobaan 2	rata - rata
1	Berat cawan + aspal (1)(gr)	101,575 gr	103,730 gr	103 gr
2	Setelah dioven (2)(gr)	101,498 gr	103,670 gr	103 gr
3	Berat Endapan (3) = (1) - (2) (gr)	,077 gr	,060 gr	0,069
4	Kehilangan Berat (%)	,076 %	,058 %	,067 %
KAO + Kadar Plastik 2%				
No	pengujian	percobaan 1	percobaan 2	rata - rata
1	Berat cawan + aspal (1)(gr)	108,531 gr	100,837 gr	105 gr
2	Setelah dioven (2)(gr)	108,509 gr	100,744 gr	105 gr
3	Berat Endapan (3) = (1) - (2) (gr)	,022 gr	,093 gr	0,058
4	Kehilangan Berat (%)	,020 %	,092 %	,056 %
KAO + Kadar Plastik 4%				
No	pengujian	percobaan 1	percobaan 2	rata - rata
1	Berat cawan + aspal (1)(gr)	103,930 gr	100,146 gr	102 gr
2	Setelah dioven (2)(gr)	103,858 gr	100,137 gr	102 gr
3	Berat Endapan (3) = (1) - (2) (gr)	,072 gr	,009 gr	0,041
4	Kehilangan Berat (%)	,069 %	,009 %	,039 %

KAO + Kadar Plastik 6%					
No	pengujian		percobaan 1	percobaan 2	rata - rata
1	Berat cawan + aspal	(1)(gr)	107,785 gr	104,673 gr	106 gr
2	Setelah dioven	(2)(gr)	107,766 gr	104,647 gr	106 gr
3	Berat Endapan (3) = (1) - (2) (gr)		,019 gr	,026 gr	0,022
4	Kehilangan Berat (%)		,018 %	,025 %	,021 %
KAO + Kadar Plastik 8%					
No	pengujian		percobaan 1	percobaan 2	rata - rata
1	Berat cawan + aspal	(1)(gr)	104,649 gr	102,230 gr	103 gr
2	Setelah dioven	(2)(gr)	104,625 gr	102,206 gr	103 gr
3	Berat Endapan (3) = (1) - (2) (gr)		,024 gr	,024 gr	0,024
4	Kehilangan Berat (%)		,023 %	,023 %	,023 %
KAO + Kadar Plastik 10%					
No	pengujian		percobaan 1	percobaan 2	rata - rata
1	Berat cawan + aspal	(1)(gr)	107,785 gr	103,861 gr	106 gr
2	Setelah dioven	(2)(gr)	107,777 gr	103,853 gr	106 gr
3	Berat Endapan (3) = (1) - (2) (gr)		,009 gr	,008 gr	0,008
4	Kehilangan Berat (%)		,008 %	,008 %	,008 %

Lampiran 11. Hasil pengujian Marshall, Flow, Marshall Quotient

Kadar Aspal = 5,95 %		Kadar Plastik = ,0 %							
No	Kode Sampel	Berat			Berat Jenis Campuran	Stabilitas		Flow (Kelelahan) mm	Marshall Quotient (Kg/mm)
		Kering	SSD	Di Air		kN	kg		
		gr	gr	gr					
1	ZK1-KAO-0	1189	1192,3	692,9	2,381	20,688	2109,5	5,414	389,62243
2	ZK2-KAO-0	1187	1196,2	688,5	2,338	22,795	2324,4	6,773	343,15672
3	ZK3-KAO-0	1185	1193,8	693,2	2,367	18,509	1887,4	4,403	428,69351
Rata - rata		1187	1194,1	691,53	2,362	20,664	2107,1	5,530	387,15756

Kadar Aspal = 5,95 %		Kadar Plastik = 2,0 %							
No	Kode Sampel	Berat			Berat Jenis Campuran	Stabilitas		Flow (Kelelahan) mm	Marshall Quotient (Kg/mm)
		Kering	SSD	Di Air		kN	kg		
		gr	gr	gr					
1	ZK1-KAO-2	1190	1197,9	694,4	2,363	20,361	2075,2	8,875	233,82458
2	ZK2-KAO-2	1189	1195,4	694,5	2,374	19,869	2025,0	4,677	432,98022
3	ZK3-KAO-2	1185	1193,1	689	2,351	26,557	2706,7	3,414	792,82057
Rata - rata		1188	1195,5	692,63	2,363	22,262	2269,0	5,655	486,54179

Kadar Aspal = 5,95 %		Kadar Plastik = 4,0 %							
No	Kode Sampel	Berat			Berat Jenis Campuran	Stabilitas		Flow (Kelelahan) mm	Marshall Quotient (Kg/mm)
		Kering	SSD	Di Air		kN	kg		
		gr	gr	gr					
1	ZK1-KAO-4	1186	1198,1	691,6	2,342	25,612	2610,4	4,762	548,13405
2	ZK2-KAO-4	1184	1196,4	689,6	2,336	18,924	1928,7	4,384	439,92139
3	ZK3-KAO-4	1193	1201	694,7	2,356	21,393	2180,4	7,098	307,16263
Rata - rata		1187,7	1198,5	691,97	2,345	21,976	2239,8	5,415	431,73936

Kadar Aspal = 5,95 %		Kadar Plastik = 6,0 %							
No	Kode Sampel	Berat			Berat Jenis Campuran	Stabilitas		Flow (Kelelahan) mm	Marshall Quotient (Kg/mm)
		Kering	SSD	Di Air		kN	kg		
		gr	gr	gr					
1	ZK1-KAO-6	1183	1196,7	690,5	2,337	29,032	2958,9	4,725	626,23099
2	ZK2-KAO-6	1181	1196,1	685,8	2,314	21,525	2193,8	6,273	349,72549
3	ZK3-KAO-6	1185	1197,7	690,7	2,337	30,055	3063,2	7,573	404,49037
Rata - rata		1183	1196,8	689	2,330	26,871	2738,7	6,190	460,14895

Kadar Aspal = 5,95 %		Kadar Plastik = 8,0 %							
No	Kode Sampel	Berat			Berat Jenis Campuran	Stabilitas		Flow (Kelelahan) mm	Marshall Quotient (Kg/mm)
		Kering	SSD	Di Air		kN	kg		
		gr	gr	gr					
1	ZK1-KAO-8	1179	1195,9	681	2,290	24,388	2485,6	6,561	378,826
2	ZK2-KAO-8	1186	1201,3	690,5	2,322	31,188	3178,7	4,574	694,87379
3	ZK3-KAO-8	1181	1195,9	685,4	2,313	24,004	2446,5	6,543	373,90128
Rata - rata		1182	1197,7	685,63	2,308	26,527	2703,6	5,893	482,53369

Kadar Aspal = 5,95 %		Kadar Plastik = 10,0 %							
No	Kode Sampel	Berat			Berat Jenis Campuran	Stabilitas		Flow (Kelelahan) mm	Marshall Quotient (Kg/mm)
		Kering	SSD	Di Air		kN	kg		
		gr	gr	gr					
1	ZK1-KAO-10	1188	1208	690,9	2,298	26,747	2726,1	6,161	442,47524
2	ZK2-KAO-10	1187	1209	692,6	2,300	34,279	3493,7	9,381	372,41133
3	ZK3-KAO-10	1186	1207	692,7	2,308	32,629	3325,5	4,018	827,71497
Rata - rata		1187	1207,7	692,07	2,302	31,218	3181,8	6,520	547,53384

No	Kode Benda Uji	Kadar Plastik	Stabilitas (kN)	Stabilitas (Kg)	Syarat Stabilitas (Min)	KETERANGAN
1	ZK - KAO - 0	0%	20,66	2107,11	2250,00	NOT OK
2	ZK - KAO - 2	2%	22,26	2268,98	2250,00	OK
3	ZK - KAO - 4	4%	21,98	2239,83	2250,00	NOT OK
4	ZK - KAO - 6	6%	26,87	2738,66	2250,00	OK
5	ZK - KAO - 8	8%	26,53	2703,60	2250,00	OK
6	ZK - KAO - 10	10%	31,218	3181,8	2250,00	OK

No	Kode Benda Uji	Kadar Plastik	Flow (Mm)	Syarat Flow (Mm)			Keterangan
				Min	-	Max	
1	ZK - KAO - 0	0%	5,530	3	-	6	OK
2	ZK - KAO - 2	2%	5,655	3	-	6	OK
3	ZK - KAO - 4	4%	5,415	3	-	6	OK
4	ZK - KAO - 6	6%	6,190	3	-	6	NOT OK
5	ZK - KAO - 8	8%	5,893	3	-	6	OK
6	ZK - KAO - 10	10%	6,520	3	-	6	NOT OK

No	Kode Benda Uji	Kadar Plastik	Marshall Quotient	Syarat MQ (Min)	Keterangan
1	ZK - KAO - 0	0%	387,16	250,00	OK
2	ZK - KAO - 2	2%	486,54	250,00	OK
3	ZK - KAO - 4	4%	431,74	250,00	OK
4	ZK - KAO - 6	6%	460,15	250,00	OK
5	ZK - KAO - 8	8%	482,53	250,00	OK
6	ZK - KAO - 10	10%	547,53	250,00	OK

Lampiran 12. Hasil Pengujian dan Perhitungan Nilai VIM

Kadar Aspal = 5,95 %					Kadar Plastik = ,0 %			
No	Kode Sampel	Berat			Berat Jenis Campuran	Berat Jenis Campuran (teori max)	VIM auto	VIM Teori
		Kering	SSD	Di Air				
		gr	gr	gr				
1	ZK1-KAO-0	1189	1192	693	2,38	2,467	3,528	3,477
2	ZK2-KAO-0	1187	1196	689	2,34	2,467	5,263	5,215
3	ZK3-KAO-0	1185	1194	693	2,37	2,467	4,082	4,032
Rata - rata		1187	1194	692	2,36	2,467	4,291017	4,241

Kadar Aspal = 5,95 %					Kadar Plastik = 2,0 %			
No	Kode Sampel	Berat			Berat Jenis Campuran	Berat Jenis Campuran (teori max)	VIM auto	VIM Teori
		Kering	SSD	Di Air				
		gr	gr	gr				
1	ZK1-KAO-2	1190	1198	694	2,36	2,466	4,314	4,139
2	ZK2-KAO-2	1189	1195	695	2,37	2,466	3,899	3,723
3	ZK3-KAO-2	1185	1193	689	2,35	2,466	4,828	4,656
Rata - rata		1188	1195	693	2,36	2,466	4,346824	4,172

Kadar Aspal = 5,95 %					Kadar Plastik = 4,0 %			
No	Kode Sampel	Berat			Berat Jenis Campuran	Berat Jenis Campuran (teori max)	VIM auto	VIM Teori
		Kering	SSD	Di Air				
		gr	gr	gr				
1	ZK1-KAO-4	1186	1198	692	2,34	2,466	5,265	5,034
2	ZK2-KAO-4	1184	1196	690	2,34	2,466	5,480	5,251
3	ZK3-KAO-4	1193	1201	695	2,36	2,466	4,670	4,436
Rata - rata		1188	1199	692	2,34	2,466	5,138759	4,907

Kadar Aspal = 5,95 %					Kadar Plastik = 6,0 %			
No	Kode Sampel	Berat			Berat Jenis Campuran	Berat Jenis Campuran (teori max)	VIM auto	VIM Teori
		Kering	SSD	Di Air				
		gr	gr	gr				
1	ZK1-KAO-6	1183	1197	691	2,34	2,463	5,224	5,097
2	ZK2-KAO-6	1181	1196	686	2,31	2,463	6,147	6,018
3	ZK3-KAO-6	1185	1198	691	2,34	2,463	5,214	5,086
Rata - rata		1183	1197	689	2,33	2,463	5,52845	5,400

Kadar Aspal = 5,95 %					Kadar Plastik = 8,0 %			
No	Kode Sampel	Berat			Berat Jenis Campuran	Berat Jenis Campuran (teori max)	VIM auto	VIM Teori
		Kering	SSD	Di Air				
		gr	gr	gr				
1	ZK1-KAO-8	1179	1196	681	2,29	2,459	6,981	6,896
2	ZK2-KAO-8	1186	1201	691	2,32	2,459	5,682	5,591
3	ZK3-KAO-8	1181	1196	685	2,31	2,459	6,023	5,934
Rata - rata		1182	1198	686	2,31	2,459	6,228901	6,140

Kadar Aspal = 5,95 %					Kadar Plastik = 10,0 %			
No	Kode Sampel	Berat			Berat Jenis Campuran	Berat Jenis Campuran (teori max)	VIM auto	VIM Teori
		Kering	SSD	Di Air				
		gr	gr	gr				
1	ZK1-KAO-10	1188	1208	691	2,30	2,454	6,590	6,377
2	ZK2-KAO-10	1187	1209	693	2,30	2,454	6,457	6,275
3	ZK3-KAO-10	1186	1207	693	2,31	2,454	6,089	5,988
Rata - rata		1187	1208	692	2,30	2,454	6,379	6,213

HASIL PERHITUNGAN VIM								
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Plastik	Vim Manual	Syarat Vim			Keterangan
					Min	-	Max	
1	ZK - KAO - 0	5,95%	0%	4,24 %	3	-	5	OK
2	ZK - KAO - 2	5,95%	2%	4,17 %	3	-	5	OK
3	ZK - KAO - 4	5,95%	4%	4,91 %	3	-	5	OK
4	ZK - KAO - 6	5,95%	6%	5,40 %	3	-	5	NOT OK
5	ZK - KAO - 8	5,95%	8%	6,14 %	3	-	5	NOT OK
6	ZK - KAO - 10	5,95%	10%	6,21 %	3	-	5	NOT OK

Lampiran 13. Hasil Pengujian dan Perhitungan Nilai VMA

kadar aspal = 5,95 %		kadar plastik = 0 %					
No	Kode Sampel	Berat Jenis Campuran	BJ bulk agregat	VMA Auto	VMA Teori	Spesifikasi	keterangan
1	ZK1-KAO-0	2,38	2,65	15,47 %	15,46 %	min. 13%	OK
2	ZK2-KAO-0	2,34	2,65	16,99 %	16,98 %	min. 13%	OK
3	ZK3-KAO-0	2,37	2,65	15,96 %	15,95 %	min. 13%	OK
Rata - rata		2,36	2,65	16,14 %	16,13 %		

kadar aspal = 5,95 %		kadar plastik = 2 %					
No	Kode Sampel	Berat Jenis Campuran	BJ bulk agregat	VMA Auto	VMA Teori	Spesifikasi	keterangan
1	ZK1-KAO-2	2,36	2,65	16,06 %	16,08 %	min. 13%	OK
2	ZK2-KAO-2	2,30	2,65	18,35 %	18,33 %	min. 13%	OK
3	ZK3-KAO-2	2,35	2,65	16,54 %	16,53 %	min. 13%	OK
Rata - rata		2,34	2,65	16,98 %	16,98 %		

kadar aspal = 5,95 %		kadar plastik = 4 %					
No	Kode Sampel	Berat Jenis Campuran	BJ bulk agregat	VMA Auto	VMA Teori	Spesifikasi	keterangan
1	ZK1-KAO-4	2,34	2,65	16,87 %	16,85 %	min. 13%	OK
2	ZK2-KAO-4	2,34	2,65	17,03 %	17,04 %	min. 13%	OK
3	ZK3-KAO-4	2,36	2,65	16,32 %	16,33 %	min. 13%	OK
Rata - rata		2,34	2,65	16,74 %	16,74 %		

kadar aspal = 5,95 %		kadar plastik = 6 %					
No	Kode Sampel	Berat Jenis Campuran	BJ bulk agregat	VMA Auto	VMA Teori	Spesifikasi	keterangan
1	ZK1-KAO-6	2,34	2,65	17,03 %	17,02 %	min. 13%	OK
2	ZK2-KAO-6	2,31	2,65	17,84 %	17,82 %	min. 13%	OK
3	ZK3-KAO-6	2,34	2,65	17,02 %	17,01 %	min. 13%	OK
Rata - rata		2,33	2,65	17,30 %	17,28 %		

kadar aspal = 5,95 %		kadar plastik = 8 %					
No	Kode Sampel	Berat Jenis Campuran	BJ bulk agregat	VMA Auto	VMA Teori	Spesifikasi	keterangan
1	ZK1-KAO-8	2,29	2,65	18,71 %	18,69 %	min. 13%	OK
2	ZK2-KAO-8	2,32	2,65	17,57 %	17,55 %	min. 13%	OK
3	ZK3-KAO-8	2,31	2,65	17,87 %	17,85 %	min. 13%	OK
Rata - rata		2,31	2,65	18,05 %	18,03 %		

kadar aspal = 5,95 %		kadar plastik = 10 %					
No	Kode Sampel	Berat Jenis Campuran	BJ bulk agregat	VMA Auto	VMA Teori	Spesifikasi	keterangan
1	ZK1-KAO-10	2,30	2,65	18,42 %	18,40 %	min. 13%	OK
2	ZK2-KAO-10	2,30	2,65	18,32 %	18,31 %	min. 13%	OK
3	ZK3-KAO-10	2,31	2,65	18,08 %	18,06 %	min. 13%	OK
Rata - rata		2,30	2,65	18,27 %	18,26 %		

HASIL PERHITUNGAN VMA						
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Plastik	VMA	Syarat VMA	Keterangan
					MIN	
1	ZK - KAO - 0	5,95 %	,00 %	16,13	13,00	OK
2	ZK - KAO - 2	5,95 %	2,00 %	16,98	13,00	OK
3	ZK - KAO - 4	5,95 %	4,00 %	16,74	13,00	OK
4	ZK - KAO - 6	5,95 %	6,00 %	17,28	13,00	OK
5	ZK - KAO - 8	5,95 %	8,00 %	18,03	13,00	OK
6	ZK - KAO - 10	5,95 %	10,00 %	18,26	13,00	OK

Lampiran 14. Hasil Pengujian dan Perhitungan Nilai VFA

kadar aspal = 5,95 %				Kadar aspal = 0 %			
No	Kode Sampel	VIM	VMA	VFA	VFA	Spesifikasi	Keterangan
		teori	teori	Teori	auto		
		%	%	%	%	%	
1	ZK1-KAO-0	3,477	15,46	78 %	77 %	min. 65%	NOT OK
2	ZK2-KAO-0	5,215	16,98	69 %	69 %	min. 65%	NOT OK
5	ZK3-KAO-0	4,032	15,95	75 %	74 %	min. 65%	NOT OK
Rata - rata		4,241	16,13	73,84	73,55		

kadar aspal = 5,95 %				Kadar aspal = 2 %			
No	Kode Sampel	VIM	VMA	VFA	VFA	Spesifikasi	Keterangan
		teori	teori	Teori	auto		
		%	%	%	%	%	
1	ZK1-KAO-2	4,139	16,08	74 %	73 %	min. 65%	NOT OK
2	ZK2-KAO-2	3,723	18,33	80 %	79 %	min. 65%	NOT OK
3	ZK3-KAO-2	4,656	16,53	72 %	71 %	min. 65%	NOT OK
Rata - rata		4,172	16,98	75,26	74,24		

kadar aspal = 5,95 %				Kadar aspal = 4 %			
No	Kode Sampel	VIM	VMA	VFA	VFA	Spesifikasi	Keterangan
		teori	teori	Teori	auto		
		%	%	%	%	%	
2	ZK1-KAO-4	5,034	16,85	70 %	69 %	min. 65%	NOT OK
4	ZK2-KAO-4	5,251	17,04	69 %	68 %	min. 65%	NOT OK
5	ZK3-KAO-4	4,436	16,33	73 %	71 %	min. 65%	NOT OK
Rata - rata		4,907	16,74	70,72	69,33		

kadar aspal = 5,95 %				Kadar aspal = 6 %			
No	Kode Sampel	VIM	VMA	VFA	VFA	Spesifikasi	Keterangan
		teori	teori	Teori	auto		
		%	%	%	%	%	
1	ZK1-KAO-6	5,097	16,85	70 %	69 %	min. 65%	NOT OK
2	ZK2-KAO-6	6,018	17,04	65 %	66 %	min. 65%	NOT OK
3	ZK3-KAO-6	5,086	16,33	69 %	69 %	min. 65%	NOT OK
Rata - rata		5,4	16,74	67,77	68,07		

kadar aspal = 5,95 %				Kadar aspal = 8 %			
No	Kode Sampel	VIM	VMA	VFA	VFA	Spesifikasi	Keterangan
		teori	teori	Teori	auto		
		%	%	%	%	%	
1	ZK1-KAO-8	6,896	18,69	63 %	63 %	min. 65%	OK
3	ZK2-KAO-8	5,591	17,55	68 %	68 %	min. 65%	OK
4	ZK3-KAO-8	5,934	17,85	67 %	66 %	min. 65%	OK
Rata - rata		6,14	18,03	66,01	65,54		

kadar aspal = 5,95 %				Kadar aspal = 8 %			
No	Kode Sampel	VIM	VMA	VFA	VFA	Spesifikasi	Keterangan
		teori	teori	Teori	auto		
		%	%	%	%	%	
1	ZK1-KAO-10	6,377	18,4	65 %	64 %	min. 65%	OK
3	ZK2-KAO-10	6,275	18,31	66 %	65 %	min. 65%	OK
4	ZK3-KAO-10	5,988	18,06	67 %	66 %	min. 65%	OK
Rata - rata		6,213	18,26	65,98	65,1		

HASIL PERHITUNGAN VFA						
No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Plastik	VFA	Syarat VFA	Keterangan
					Min	
1	ZK - KAO - 0	5,95 %	,00 %	73,84	65	OK
2	ZK - KAO - 2	5,95 %	2,00 %	75,26	65	OK
3	ZK - KAO - 4	5,95 %	4,00 %	70,72	65	OK
4	ZK - KAO - 6	5,95 %	6,00 %	67,77	65	OK
5	ZK - KAO - 8	5,95 %	8,00 %	66,01	65	OK
6	ZK - KAO - 10	5,95 %	10,00 %	65,98	65	OK